This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

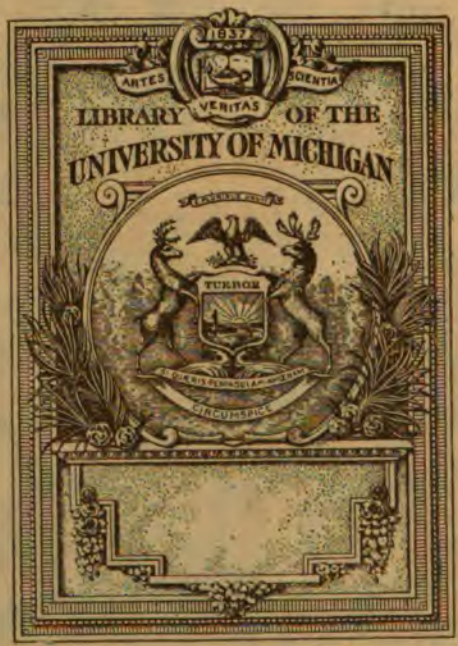
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

SCIENCE Library
TN
5
.C74
1889

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

PUBLIÉ

SOUS LA DIRECTION DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

TROISIÈME SÉRIE

TOME III

IVme LIVRAISON

1889

CONGRÈS INTERNATIONAL

DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

TRAVAUX DU CONGRÈS

Documents généraux.
Procès-verbaux détaillés des séances.

SAINT-ÉTIENNE

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ POUR L'ANNÉE 1890

Administrateurs honoraires :

M. Baure, ancien directeur des houillères de la Cie des Forges de Châtillon et Commentry, à Lyon.
M. Gonthier, ingénieur en chef des mines, à Clermont-Ferrand.
M. Euverte, ancien directeur des usines de Terrenoire, à Paris.

Président de la Société :

M. Castel, inspecteur général des mines, à Paris.

Conseil d'administration :

Vice-Présidents :
MM. Devillaine (Mn), directeur de la Cie des Houillères de Montrambert et la Béraudière.
Evrard (Maxim.) (Co), ingénieur, à Saint-Etienne.
Leseure (Mt), directeur de l'Ecole des mines de Saint-Etienne.
Villiers (Mn), directeur de la Société des Houillères de Saint-Etienne.

Secrétaire général : M. Tauzin (Mn), ingénieur au Corps des mines, professeur à l'Ecole des mines de Saint-Etienne.

Secrétaire : M. Chansselle (Mn), ingénieur principal de la Société des Houillères de Saint-Etienne.

Trésorier-archiviste : M. Grand'Eury (Mn), professeur à l'Ecole des mines de Saint-Etienne.

Membres :
MM. Baretta (Mn), ingénieur-directeur des mines de Beaubrun, à Saint-Etienne.
Brustlein (Mt), ingénieur-directeur des usines Jacob Holtzer et Cie, à Unieux.
Carvès (In), ingénieur-gérant de la Société de carbonisation de la Loire, à Saint-Etienne.
Clair (Co), constructeur-mécanicien, place de la Montat, à Saint-Etienne.
Crozet (Co), ingénieur-directeur des Ateliers de construction Fourneyron, au Chambon.
Desbief (Mn), ingénieur civil, à Saint-Etienne.
Harmet (Mt), ingénieur-directeur des Forges et Aciéries de Saint-Etienne.
De Montgolfier (Mt), directeur de la Société des Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer, Saint-Chamond.
Pinel (Mn), ingénieur principal de la Cie des mines de Montrambert et la Béraudière.
Rollet (Mt), ingénieur métallurgiste, à Saint-Etienne.
Du Rousset (Mn), directeur de la Cie des mines de la Loire, à Saint-Etienne.
Termier (Mn), ingénieur au Corps des mines, professeur à l'Ecole des mines.
Voisin (Mn), ingénieur principal des mines de Roche-la-Molière et Firminy.
Wéry (Mn), ingénieur-directeur des Houillères de la Chazotte.

Nota. — Conformément à l'article 19 du Règlement administratif, le Conseil, qui est présidé par le Président de la Société, est formé de 21 membres choisis autant que possible de manière que 10 représentent les mines, 5 la métallurgie, 3 la construction et 3 les industries diverses. Les indices (Mn), (Mt), (Co) et (In) désignent, dans le tableau ci-dessus, les membres qui appartiennent à ces catégories spéciales.

Congrès international des mines et métallurgie, 1889

CONGRÈS INTERNATIONAL

DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

TRAVAUX DU CONGRÈS

DOCUMENTS GÉNÉRAUX :

ORGANISATION ET CONSTITUTION DU CONGRÈS

PROCÈS-VERBAUX DÉTAILLÉS DES SÉANCES

SAINT-ÉTIENNE
IMPRIMERIE THÉOLIER ET Cie
Rue Gérentet, 12.

1889

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

05-10-225 H.

Le Conseil d'administration de la *Société de l'Industrie minérale* s'est chargé, sur la proposition qui lui en a été faite par le Président de la Société, de la publication de tous les travaux du Congrès international des mines et de la métallurgie.

Une première livraison du *Bulletin*, la troisième de 1889, a reproduit les rapports préliminaires rédigés, à la demande de la Commission d'organisation du Congrès, sur les neuf questions soumises par cette Commission aux discussions de celui-ci.

Les travaux proprement dits du Congrès ont été divisés en trois parties, savoir :

1re Partie : *Documents généraux, organisation et constitution du Congrès ;*

2e Partie : *Procès-verbaux détaillés des séances du Congrès ;*

3e Partie : *Procès-verbaux des visites faites à l'Exposition.*

La première livraison de 1890 sera affectée à ces derniers procès-verbaux ; les deux premières parties des travaux du Congrès forment la matière de la présente livraison.

3926

Sous le nom de documents généraux, on a groupé tout ce qui se rapporte à la phase de préparation du Congrès, circulaire du 1er mars 1889 de la Commission d'organisation, programme et règlement du Congrès, listes des délégués officiels et des membres d'honneur, liste générale des membres, procès-verbal de la séance d'ouverture.

Le Congrès constitué, ses membres ont pris part chaque matin à des visites à l'Exposition et assisté chaque soir à des séances où ont été notamment discutées les neuf questions soumises à leur examen ; de là la division en deux parties de l'ensemble de leurs travaux.

Pour les séances du Congrès, il a paru rationnel de continuer à grouper, comme l'avait fait le programme du Congrès, les questions relatives aux mines d'une part, et d'autre part celles qui sont de la compétence des métallurgistes. — On a donc publié d'abord les procès-verbaux des séances des 3, 5, 7, 10 et 11 septembre (mines), puis ceux des séances des 4, 6, 9 et 11 septembre (métallurgie). — Les comptes-rendus des banquets des 10 et 7 septembre forment une annexe intéressante qui termine la quatrième livraison de 1889.

Les procès-verbaux des visites à l'Exposition ont été rédigés par un groupe de jeunes ingénieurs qui ont bien voulu servir de guides aux membres du Congrès. Ce sont, Messieurs :

Barra, ingénieur.
Botassi, ingénieur des arts et manufactures.
Chevalier, ingénieur civil des mines.
Dorion, ingénieur aux forges de Stenay.
Durassier, ingénieur civil des mines.
Lauras, ingénieur civil des mines.
Lebel, ingénieur, architecte de la classe 48.

De Marchena, ingénieur de la Compagnie Edison.
Ménard, ingénieur des arts et manufactures.
Petitjean, ingénieur civil des mines.
Schmidt, ingénieur des arts et manufactures.
Steenman, ingénieur des arts et manufactures.
Wourgaft, ingénieur des arts et manufactures.

Chaque procès-verbal est d'ailleurs suivi, sauf quelques rares exceptions, du nom de l'ingénieur qui l'a rédigé.

L'ensemble des procès-verbaux de visite est divisé en deux sections : la première comprend toutes les expositions françaises visitées, Métropole et Colonies ; la deuxième se rapporte aux expositions étrangères.

Dans la première section, la division en classes était naturellement indiquée ; toutefois, les classes 48, 41 et 52 seules ont fait l'objet de chapitres spéciaux ; un quatrième et dernier chapitre est consacré à toutes les autres expositions visitées.

Pour rapprocher autant que faire se pouvait, sans renoncer à la forme de monographies qui leur a été donnée, les procès-verbaux relatifs à des expositions analogues, les classes 48 et 41 ont dû être ensuite divisées en groupes et sous-groupes, ainsi que l'indiquent les tableaux suivants :

Classe 48	§ 1er Expositions des Compagnie des Mines	1° Mines de houille du Nord et du Pas-de-Calais.	
		2° Id. de la Loire.	
		3° Id. du Gard.	
		4° Id. Diverses.	
		5° Mines diverses.	
	§ 2e Matériel des mines.		
	§ 3e Matériel et procédés de la métallurgie.		
	§ 4e Expositions diverses.		

Classe 41	§ 1er Produits de la métallurgie.	1° Industrie sidérurgique. 2° Métallurgie des métaux autres que le fer.
	§ 2e Produits des Mines.	1° Expositions de la métropole. 2° Gîtes minéraux des colonies françaises.

Dans la section consacrée aux expositions étrangères, les expositions visitées de la Belgique, des Etats-Unis et de la Grande-Bretagne font l'objet de trois premiers paragraphes ; le petit nombre des expositions visitées parmi les exposants des autres pays a fait grouper tous ceux-ci dans un quatrième et dernier paragraphe.

Ire PARTIE

DOCUMENTS GÉNÉRAUX :

ORGANISATION ET CONSTITUTION DU CONGRÈS

Paris, le 1er mars 1889.

MONSIEUR,

Le Gouvernement français a pris, à l'occasion de l'Exposition universelle de 1889, l'initiative d'instituer un certain nombre de Congrès internationaux.

Le Ministre du Commerce et de l'Industrie, Commissaire général de l'Exposition, a nommé des Commissions chargées de les organiser.

La Commission d'organisation du Congrès des mines et de la métallurgie vient, Monsieur, faire appel à votre concours.

Vous apprécierez la haute pensée qui a guidé le Gouvernement, et vous jugerez avec nous combien l'Exposition universelle qui va s'ouvrir fournira de documents précieux pour tous les esprits soucieux des progrès de l'art des mines et de l'industrie métallurgique.

Le Congrès des mines et de la métallurgie s'ouvrira à Paris le 2 septembre ; il durera 10 jours.

Le Congrès a pour mission non seulement de faciliter l'étude des objets exposés, à l'aide de visites organisées, mais aussi d'appeler l'attention des savants et des industriels sur les problèmes qui ont été l'objet des plus vives préoccupations dans ces dernières années.

Dans ce but, la Commission a décidé de soumettre aux discussions du Congrès les questions dont vous

trouverez ci-joint le programme, sans préjudice de celles qui pourront être portées en séance par les Membres du Congrès, après approbation du Bureau.

Pour préciser les questions et provoquer leur discussion, la Commission a décidé que des rapports préliminaires seraient rédigés sur les sujets inscrits au programme.

La Commission vient vous demander, Monsieur, de vouloir bien vous faire inscrire comme membre du Congrès.

Les rapports seront imprimés et distribués par avance aux adhérents; les comptes rendus du Congrès leur seront également adressés.

La cotisation est de 20 francs.

La Commission sollicite votre concours, Monsieur, et vous prie d'agréer l'assurance de sa considération très distinguée.

Le Président,

CASTEL.

Les Vice-présidents,

A. BRULL,
HATON DE LA GOUPILLIÈRE,
S. JORDAN,
RÉMAURY.

Les Secrétaires,

DUJARDIN-BEAUMETZ,
F. GAUTIER,
E. GRUNER,
LODIN.

P. S. — La correspondance générale et technique devra être adressée à M. CASTEL, *inspecteur général des mines, président de la Commission d'organisation, boulevard Raspail, 144, à Paris.*

Les adhésions et les fonds seront adressés à M. DUJARDIN-BEAUMETZ, *secrétaire-trésorier, avenue de l'Opéra, 11, à Paris.*

Commission d'organisation

DU CONGRÈS DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

MM.

BANGE (le colonel DE), directeur général de la Société des anciens établissements Cail.

BOUCHERON (Henri), ingénieur civil, professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

BRULL, ingénieur civil, ancien président de la Société des ingénieurs civils.

BRESSON (Georges), ingénieur civil des mines.

BUQUET (Paul), ingénieur civil, directeur général des Salines de l'Est.

CARNOT, ingénieur en chef des mines, inspecteur de l'Ecole nationale supérieure des Mines.

CASTEL, inspecteur général des Mines, président de la *Société de l'Industrie minérale.*

CLÉMENDOT (Louis), ingénieur civil.

DREUX, directeur des Aciéries de Longwy.

DUJARDIN-BEAUMETZ, ingénieur, secrétaire général de la Société des mines de Carmaux, secrétaire du Comité central des houillères de France.

DUVAL, ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite, directeur général de la Compagnie de Fives-Lille.

EVRARD (Alfred), ingénieur civil, directeur général de la Compagnie de Châtillon et Commentry.

FUCHS, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'Ecole nationale supérieure des mines.

GAUTIER (F.), ingénieur civil des Mines.

GRUNER (Edouard), ingénieur civil des Mines.

MM.

HALLOPEAU (Alfred), ingénieur civil, professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

HATON DE LA GOUPILLIÈRE, membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur de l'Ecole nationale supérieure des Mines.

JORDAN, ingénieur civil, professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures, ancien président de la Société des ingénieurs civils.

LEDOUX, ingénieur en chef des mines, professeur à l'Ecole nationale supérieure des Mines.

LINDER, inspecteur général des mines, vice-président du Conseil général des mines.

LODIN, ingénieur des mines, professeur à l'Ecole nationale supérieure des mines.

MARTELET, ingénieur en chef des mines, directeur général de la Compagnie de Denain et Anzin.

NIVOIT, ingénieur en chef des mines, professeur à l'Ecole nationale des ponts et chaussées.

ORSEL, inspecteur général des mines.

PARRAN, ingénieur en chef des mines, directeur général de la Compagnie de Moktael-Hadid.

REMAURY, ingénieur civil des mines.

ROGÉ, maître de forges à Pont-à-Mousson, président de la Chambre de Commerce de Nancy.

SCHNEIDER, gérant de la Société des houillères, forges, aciéries et ateliers de construction du Creusot.

SELLE (Albert DE), ingénieur civil, professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

WURGLER, ingénieur civil, professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

Programme du Congrès.

QUESTIONS A TRAITER DANS LES RÉUNIONS ET CONFÉRENCES

MINES

1. Lampe de sûreté.

M. Le Chatelier, ingénieur des mines, *rapporteur*.

2. Emploi des explosifs dans les mines.

M. Mallard, inspecteur général des mines, *rapporteur*.

3. Applications diverses de l'électricité aux travaux souterrains. — Tirage des mines. — Éclairage. — Signaux. — Transmission de force motrice.

MM. Chalon et de Bovet, ingénieurs, *rapporteurs*.

MM. Chansselle et Charousset, ingénieurs, *rapporteurs*.

4. Questions se rapportant à la montée, à la descente et à la circulation des ouvriers mineurs, spécialement question des parachutes et des recettes.

M. Reumaux, ingénieur en chef de la Compagnie des mines de Lens, *rapporteur*.

MÉTALLURGIE

1. Progrès récents de l'affinage et de la déphosphoration dans la fabrication des fers et des aciers.

MM. Gruner et G. Bresson, *rapporteurs*.

2. Forgeage comparé au pilon et à la presse.

M. Gautier, *rapporteur*.

3. Alliages ferro-métalliques, fabrication, propriétés et emploi.

MM. Gautier et Brustlein, *rapporteurs*.

4. Nouveaux alliages de métaux autres que le fer, et spécialement du cuivre.

MM. Manne, Vinçotte et Weiler (Lazare), *rapporteurs*.

5. Nouveaux procédés de trempe.

MM. Evrard (Alfred) et Osmond, *rapporteurs*.

Règlement.

ARTICLE PREMIER

Conformément à l'arrêté ministériel en date du 24 décembre 1888, il est institué à Paris, au cours de l'Exposition universelle de 1889, un Congrès international des mines et de la métallurgie.

ART. 2.

Ce Congrès s'ouvrira le 2 septembre, à 2 heures de l'après-midi, au Conservatoire des arts et métiers ; sa durée sera de dix jours.

ART. 3.

Seront membres du Congrès les personnes qui auront adressé leur adhésion au trésorier de la Commission d'organisation, avant l'ouverture de la session, ou qui se feront inscrire pendant la durée de celle-ci, et qui auront acquitté la cotisation dont le montant est fixé à 20 francs.

ART. 4.

Les membres du Congrès recevront une carte qui leur sera délivrée par le trésorier. Cette carte ne donne aucun droit à l'entrée gratuite à l'Exposition ; elle sera strictement personnelle ; si elle venait à être prêtée, elle serait immédiatement retirée.

ART. 5.

Au début de la première séance, le bureau du Comité d'organisation fera procéder à la nomination du bureau du Congrès, chargé de la direction des travaux de la session.

ART. 6.

Les séances du Congrès seront consacrées alternativement à l'art des mines et à la métallurgie ; le bu-

reau du Congrès fixera l'ordre du jour de chacune d'elles.

ART. 7.

Les travaux du Congrès comprendront des séances de discussion et des visites collectives à l'Exposition, préparées par les soins du Comité d'organisation.

ART. 8.

Les membres du Congrès ont seuls le droit de prendre part à ces visites et d'assister aux séances. Toutefois, les délégués des administrations publiques françaises ou étrangères jouiront des avantages réservés aux membres du Congrès.

ART. 9.

Les délibérations du Congrès commenceront par la discussion des questions mises à l'ordre du jour par le Comité d'organisation.

ART. 10.

Après épuisement de ces questions, d'autres sujets pourront être mis en discussion sur l'initiative d'un membre du Congrès, après acceptation par le bureau prévenu au moins quarante-huit heures d'avance.

ART. 11.

Lorsqu'une question nouvelle sera inscrite dans ces conditions à l'ordre du jour du Congrès, le membre qui en aura provoqué la discussion aura un quart d'heure pour présenter l'exposé de ses vues.

Dans tout autre cas, un orateur ne pourra garder la parole pendant plus de dix minutes, ni parler plus de deux fois dans la même séance sur le même sujet, à moins que l'Assemblée consultée n'en décide autrement.

ART. 12.

Pour faciliter le travail des secrétaires, le membre du Congrès qui aura pris la parole devra remettre au bureau dans les vingt-quatre heures un résumé de sa communication, rédigé autant que possible en français.

ART. 13.

Un compte rendu détaillé des travaux du Congrès sera publié par les soins du Comité d'organisation. Celui-ci se réserve de fixer l'étendue des mémoires ou communications à insérer dans ce compte rendu.

ART. 14.

Le bureau du Congrès statuera en dernier ressort sur tous les points non prévus par le règlement.

Toutes les communications relatives au Congrès devront être adressées à M. Dujardin-Beaumetz, secrétaire-trésorier du Comité d'organisation, avenue de l'Opéra, 11, Paris.

Liste des délégués officiels.

Belgique	ARNOULD. DURAND. GREINER. DESCAMP. WITMEUR. VAN DRUVEN.
Espagne	DON LUIS DE LA ESCOSURA. Dr DIEGO DE LA VINA. Dr EUSEBIO OYARZABAL.
Grèce	ERNEST VLASTO.
Italie	SERPIERI. VERARDINI.

Turquie	BONKOWSKI.
Japon	TOYOTA ISHIDO.
Bolivie	AVELINO AMARAYO.
Brésil	Arthur ALVIM.
République Dominicaine	BOYER.
Etats-Unis	Henri HOWE.
Mexique	ANTONIO DEL CASTILLO. GILBERTO CRESPO. SALAS.
Paraguay	GUILLEMAN.
Salvador	Dr DAVID GUSMAN.
Havaï	HOULÉ.

Liste alphabétique des Membres d'honneur.

ANGLETERRE

MM.

Sir Frédéric ABEL, F. R. S., Royal Arsenal, Woolwich.

Sir Isaac Lowthian BELL, Bart., F. R., S., Clarence Works, Middlesbroug.

Sir Henry BESSEMER, F. R. S., Denmark Hill, London.

Sir George ELLIOT, Bart,, M. P., 23, Great George Street, London.

Wm GALLOWAY, Mining Engineer, Cardiff.

Sir James KITSON Bart., President of the Iron and Steel Institute, Monkbridge Iron Works, Leeds.

W. Chandler ROBERTS-AUSTEN, F. R. S., Royal Mint, London.

Sir Bernhardt SAMUELSON. Bart., M. P., 56, Princes Gate, South Kensington, London.

Sir Warington W. SMYTH, F. R. S., directeur de l'École des Mines, Jermyn Street, 28, London.

Lindsay WOOD, Esq., The Hermitage, Chesterle Street.

AUTRICHE

MM.

HAUER (le professeur Julius Ritter VON), Oberbergrath, Leoben.

HOFER (Hans), Direktor der k. k. Bergakademie, Leoben.
KUPELWIESER (le professeur Franz), Oberbergrath, Leoben.
POSEPNY (le professeur), Wahring Parkstrasse, 23, Vienne.
TUNNER (Peter Ritter VON), Hofrath, Leoben.

BELGIQUE

MM.

ANDRIMONT (Julien D'), sénateur, bourgmestre de Liège.
ARNOULD, directeur général des mines, Bruxelles.
HABETS, professeur d'exploitation des mines à l'École des Mines de Liège.
HARZÉ (Émile), directeur des mines au département de l'agriculture, de l'industrie et des travaux publics, Bruxelles.
GILLON, professeur de métallurgie à l'Université de Liège.
GREINER, directeur général des usines John Cockerill, à Seraing.
GUINOTTE, président du groupe VI de la section belge à l'Exposition universelle de 1889, à Mariemont, par Morlanwelz.
MONTEFIORE, sénateur, rue de la Science, 35, à Bruxelles.
SINÇAY (DE), directeur général de la Société de la Vieille-Montagne, à Chénée, près Liège.

ESPAGNE

MM.

CASTRO (DE), inspecteur général des mines, directeur du service de la carte géologique.
OYARZABAL, inspecteur général des mines, directeur des mines d'Almaden.

HOLLANDE

M.

GROOT (Cornélis DE), ingénieur en chef des mines.

HONGRIE

MM.

FARBAKY (Stefan), conseiller royal des mines, directeur de l'Académie des mines et forêts, Schemnitz.

GRANZEUSTEIN, (Bela DE), conseiller royal ministériel, Buda-Pesth.

KERPELY (Auton DE), conseiller royal ministériel, Buda-Pesth.

ITALIE

MM.

BREDA, directeur général des forges et aciéries de Terni.

BODIO, directeur au ministère de l'agriculture et du commerce.

CREMONA, directeur de l'École des ingénieurs, à Rome.

GIORDANO, inspecteur général des mines.

PELLATI, inspecteur général des mines.

LUXEMBOURG

MM.

DUTREUX, commissaire général du grand-duché à l'Exposition de 1889.

METZ (Émile), maître de forges à Domeldange.

NORWÈGE

M.

VOGT, professeur à l'Université de Christiania.

PORTUGAL

MM.

COSTA SEQUEIRA (P. V. DA), chef du département des mines au ministère des travaux publics, à Lisbonne.

CABRAL (J. A. NEVES DAS), inspecteur au corps des mines, à Lisbonne.

RUSSIE

MM.

IWANOFF (Jean), conseiller intime, chef des mines du gouvernement et des mines privées de l'Oural.

KOEPPEN (DE), conseiller d'État actif, chef de section des mines du royaume de Pologne au département des mines.

KOULIBINE (Nicolas), conseiller intime, directeur du département des mines au ministère des domaines.

JOSSA (Alexandre), conseiller intime remplissant les fonctions de président du conseil des mines et du comité scientifique des mines.

MŒLLER (DE), conseiller intime, chef des mines du gouvernement et des mines privées du Caucase.

ROMANOWSKI, duc DE LEUCHTEMBERG (le prince Nicolas), membre du conseil des mines et du comité scientifique des mines.

ROMANOWSKI (Genady), membre du conseil des mines et du Comité scientifique des mines, professeur à l'École des Mines.

SKALKOWSKI (Constantin), conseiller d'Etat actif, vice-président du département des mines.

TASKINE (Alexander), directeur de la section d'agriculture et des mines du cabinet de S. M. l'Empereur.

SAXE

MM.

KREISCHER, Bergrath, professeur à l'Académie royale des mines, à Freiberg.

LEDEBUR, professeur à l'Académie royale des mines, à Freiberg.

SUÈDE

MM.

AKERMAN, professeur à l'Ecole des Mines, Stockholm.

NORDENSTROM, professeur à l'École des Mines, Stockholm,

NORDSTROM, directeur de l'Administration des mines, Stockholm.

KNUT STYFFE, directeur de l'École polytechnique, Stockholm.

THYSELIUS, président du Jern Kontor, Stockholm.

TURQUIE

S. EXC. EDHEM PACHA, ancien élève de l'École des Mines de Paris.

CHINE

MM.

LO TSENG LOH, ancien élève de l'École des Mines de Paris, secrétaire du vice-roi de Pe Tchi-Li, à Tien Tsin.

Son EXC. MA KIÉ TCHONG, directeur général de la China Merchant Steam Navigation Company, à Shanghaï.

TÇHENG-KI-TONG (Le général), attaché à l'ambassade de Chine à Paris.

JAPON

MM.

TAKATO (Oshima), directeur des mines à Sado.
HASEGAWA YOSHINOSUKE, ingénieur civil.

CANADA

M.

STERRY HUNT, à Montréal.

ÉTATS-UNIS

MM.

BAYLES (C. James), M. E., 66, Duane Street, New-York.
BLAKE (Prof. William), Newhaven, Connecticut.
COXE (B. Eckley), M. E., Drifton, Pensylvanie.
DROWN (Prof. Thomas), Massachusets Institute of Technology, Boston, Massachusets.
EGLESTON (Prof. Th.), Columbia college, New-York.
HAGUE (Prof. Arnold), Geological Survey, Washington.
HEWITT (Hon. Abram), 17, Burling Slip, New-York.
ROSSITER W. Raymond, Burling Slip, New-York City.
ROTWELL (P. Richard), P. O. Box 1833, New-York City.

RÉPUBLIQUE ARGENTINE

M.

GONZALEZ (Le Docteur V. Joaquin), député au Congrès national, Buénos-Ayres.

BOLIVIE

M.

ARCE (Aniceto), Président de la République.

BRÉSIL

MM.

Le prince don Pedro Augusto DE SAXE-COBOURG GOTHA, à Rio de Janeiro.
GORCEIX, directeur de l'Ecole des Mines d'Ouro Preto.
MURSA (Le lieutenant-colonel), directeur de l'usine d'Iponema.

COLOMBIE

M.

RESTREPO (Vicente), Ministre des affaires étrangères, à Bogota.

CHILI

M.

CONCHA Y TORO (Melchor), à Valparaiso.

PÉROU

MM.

HABICH, directeur de l'École des Mines, à Lima.
RAIMONDI, géologue.

Liste alphabétique des Membres du Congrès.

MM.

ACIÉRIES DE FRANCE, à Isbergues (Pas-de-Calais).
AGNIEL, agent général des Mines de Nœux, à Nœux-les-Mines (Pas-de-Calais).
AGUILLON, ingénieur en chef des mines, 12, rue Roquépine, Paris.
ALARDIN (Justin), ingénieur à Mons (Belgique).
ALARDIN fils, ingénieur à Mons (Belgique).
ALBRAND, directeur des Mines de Villefort et Vialas (Lozère).
ALIMANT, 22, rue d'Arcole, à Saint-Etienne (Loire).
AMIOT, ingénieur en chef des Mines, 4, rue Weber, Paris.
AMORY, ingénieur à Boussu (Hainaut), Belgique.
ANDRADI (F. D'), ingénieur des Mines, à Lisbonne.
ARRAULT (Paulin), ingénieur, 69, rue Rochechouart, Paris.
ASTIER, ingénieur aux Houillères des Salles-de-Gagnières, (Gard).
AUDOIN (Paul), 14, rue Cuvier, Paris.
AUTISSIER, ingénieur, directeur-gérant des Ardoisières de Rochefort, à Rochefort-en-Terre (Morbihan).
AZANTCHEEF, ingénieur des Mines, à Petrozawodsk, gouvernement d'Olonerk (Russie).
BABILOT, directeur des Mines de Portes et Sénéchas, à la Vernarède (Gard).
BADOUREAU, ingénieur des Mines, à Amiens.
BAIRE, 2, rue de Calais, à Boulogne-sur-Mer.

BAISSAC, ingénieur des Mines de Gouhenans (Haute-Saône).

BARBARY DE LANGLADE, 2, place Richelieu, Bordeaux.

BARDON, ingénieur-directeur des Mines de Trélys (Gard).

BARETTA, directeur des Mines de Beaubrun, 27, cours Victor-Hugo, à Saint-Etienne (Loire).

BARBE, député, 8, rue d'Aumale, Paris.

BARTHÉLEMY (Louis), 25, quai Voltaire, Paris.

BASADRE Y FORERO (Carlos), ingénieur des Mines, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

BASIAUX, ingénieur de la Manufacture des Glaces d'Oignies (Belgique).

BASTEYNS (Adolphe), Chalonnes-sur-Loire (Maine-et-Loire).

BAUDERALI, ingénieur, chef de service central du Matériel et de la Traction au chemin de fer du Nord, 7, rue La Bruyère, Paris.

BAUGE (DE), 6, avenue de l'Alma, Paris.

BAYARD (Paul), directeur des Forges de Montataire, à Montataire (Oise).

BAYLE, à Montluçon (Allier).

BAZATA (Joas-Augusto), à Lisbonne.

BEAUMETZ, 147, boulevard Malesherbes, Paris.

BEIGBEDER, 26, avenue de l'Opéra, Paris.

BEL (J.-M.-Marie), 21, rue de Berne, Paris.

BELLEFROID, ingénieur de la Société de la Vieille-Montagne, Bray-Lû (Seine-et-Oise).

BENOIST, ingénieur des Mines de Somorrostro, à Bilbao (Espagne).

BERGAUD, ingénieur en chef des Mines de Bruay (Pas-de-Calais).

BERGE (Réné), 240, faubourg Saint-Honoré, Paris.

BESSARD, ingénieur, directeur des Houillères de Cessous et de Comberedonde, à la Jasse, par Chamborigaud (Gard).

BEURGES (Comte DE), 37, avenue Montaigne, Paris.

BIDOU, à Cons-la-Grandville (Meurthe-et-Moselle).

BIGUET, ingénieur aux Mines de Trélys, par Robiac (Gard).

BIVER, Administration Commentry-Châtillon, 14, rue Prony, Paris.

BIVER, directeur de la Société des Charbonnages des Bouches-du-Rhône, 12, rue de la Darse, Marseille.

BOCKSTOEL, 279, avenue de la Reine, Locken (Bruxelles).

BOLLE (Eugène), 23, boulevard Central, à Charleroi (Belgique).

BOLLAERT, agent général des Mines de Lens, à Lens (Pas-de-Calais).

BOLLAERT (Félix), inspecteur central des Mines de Lens, à Lens (Pas-de-Calais).

BONIVER, ingénieur des Mines du Phœnix, à Laar, près Ruhrort (Allemagne).

BOUCHACOURT, ingénieur aux Aciéries de Firminy (Loire).

BOUCHERON (Henri), professeur à l'Ecole Centrale, adjoint au maire du 7e arrondissement, 99, quai d'Orsay, Paris.

BOUCHEZ, ingénieur des Charbonnages belges de Frameries, à Frameries (Belgique).

BOUDOURESQUE, à Mirepoix (Ariège).

BOISGROLLIER (DE), ingénieur principal à Imphy (Nièvre).

BOISSIÈRE, boulevard Denain, 9, à Paris.

BORNET, rue Faraday, 19, Paris.

BOULANGIER (Paul), ingénieur civil, 29, cours du Midi, à Lyon.

BOUTAN, ingénieur au Corps des Mines, 10, rue Sainte-Anne, Paris.

BOUTILLIER, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 24, rue de Madrid, Paris.

BOVET (DE), ingénieur, 45, rue Jacob, Paris.

BOYNET, ingénieur civil, 21, rue Condorcet, Paris.

BRARD, ingénieur à la Compagnie de Belmez (provincia de Cordoba), Espagne.

BRASSARD, directeur-gérant de la Société des Ardoisières de Moulin-Sainte-Anne, à Fumay (Ardennes).

BRESCHARD, ingénieur à Oignies (Pas-de-Calais).

BRESSON, 4, avenue du Coq, Paris.

BRETON, 17, rue Saint-Michel, à Calais (Pas-de-Calais).

BRIART Alp., ingénieur en chef des Charbonnages de Mariemont, à Morlanwelz (Belgique).

BRIART (Edmond), à Bascoup-Chapelle-Mons (Belgique).

BRICHAUX, Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).

BRODART, 193, rue de l'Université, Paris.

BRULL, 117, boulevard Malesherbes, Paris.

BRUN, Flers-lez-Douai (Nord).

BRUNEAU, ingénieur des Poudres et Salpêtres, Sevran-Livry (Seine-et-Oise).

BRUSTLEIN, directeur des Usines Jacob Holtzer, à Unieux (Loire).

BUENO (Ismaël), ingénieur des Mines, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

BUISSON (Amédée), à Manosque (Basses-Alpes).

BULOT, 10, rue Volney, Paris.

BUQUET (Paul), 52, rue Laffitte, Paris.

BUSQUET, directeur des Mines de Decize, La Machine (Nièvre).

CABANY, 6, avenue Quinten-Maltgs, Anvers (Belgique).

CABRAL (J.-A.-C. DAS NEVES), rue Rodrigo do Fonsec, 5, Lisbonne.

CALDAYA (Ch.), ingénieur, 1, boulevard Saint-Michel, Paris.

CAMBESSÈDES, professeur à l'Ecole des Maîtres Mineurs de Douai (Nord).

CAMOIN, ingénieur de la Société de Construction des Batignolles, 176, avenue de Clichy, Paris.

CANON (Louis), 13, rue Terre-du-Prince, Mons (Belgique).

CARNOT (Adolphe), ingénieur en chef des Mines, 60, boulevard Saint-Michel, Paris.

CASTANIÉ, à Alais (Gard).

CASTEL, inspecteur général des Mines, 144, boulevard Raspail, Paris.

CASTRO (Espagne).

CATRICE, à Déruvills (Hainaut), Belgique.

CHALMETON, directeur des Aciéries et Forges de Firminy, à Firminy (Loire).

CHALMETON, administrateur des Houillères de Bessèges (Gard).

CHAMPIGNY (Armand), ingénieur, 11, rue Berne, Paris.

CHANDELON, directeur de la Société Rumelange (Grand-Duché de Luxembourg).

CHANOVE, ingénieur civil du Crédit Lyonnais, 19, boulevard des Italiens, Paris.

CHANSSELLE, ingénieur en chef des Houillères de Saint-Etienne (Loire).

CHAPER, ingénieur civil, 31, rue Saint-Guillaume, Paris.

CHARRIER (Jules), ingénieur, Paulhaguet (Haute-Loire).

CHARVET (Henri), ingénieur civil, 5, place Marengo, Saint-Etienne.

CHASTELAIN (Alexandre), rue Rochefort, Figeac (Lot).

Châtillon et Commentry, 19, rue Larochefoucauld, Paris.

CHAUVEAU (Georges), 182, boulevard Saint-Germain, Paris.

CHEVALIER, ingénieur des Hauts-Fourneaux de Saint-Louis (banlieue de Marseille), Bouches-du-Rhône.

CHEVALIER, 61, quai de Grenelle, Paris.

CHOMIENNE, ingénieur à l'Usine Arbel, Rive-de-Gier (Loire).

CILLEY (Guillaume), administrateur général de la Compagnie minière et du Chemin de fer de Callao à Terro de Dasco, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes.

CLAMENS, ingénieur-constructeur, au Chambon-Feugerolles (Loire).

CLAUDE, ingénieur des Forges de Champigneulles (Meurthe-et-Moselle).

CLERC, ingénieur aux Hauts-Fourneaux de Saint-Louis, près Marseille (Bouches-du-Rhône).

CLERCK (DE), ingénieur en chef des Mines, 88, rue Famars, Valenciennes (Nord).

CLERMONT, 3, rue de la Bourse, Saint-Etienne (Loire).

CLÉMANDOT, 26, boulevard des Batignolles, Paris.

CLUZEL (James), ingénieur civil des Mines, 53, cours Sablon, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

COLLIN (Emile), 30, avenue de Messine, Paris.

Commentry-Fourchambault, 16, place Vendôme, Paris.

Compagnie des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer, Saint-Chamond (Loire).

Comptoir métallurgique de Longwy, à Longwy (Meurthe-et-Moselle).

COPPÉE, boulevard d'Anderlecht, 68, Bruxelles.

CORNUAULT, directeur de la Compagnie du Gaz et des Hauts-Fourneaux de Marseille, 6, rue Le Pelletier, Paris.

Cortozar (Daniel de), carte géologique. ingénieur en chef des Mines (Espagne).

Cosset-Dubrulle fils, 3, rue de Toul, Lille.

Costa-Lequière (de), 3, rampa de Santos, Lisbonne.

Coste, directeur des Forges de la Marine, Rive-de-Gier (Loire).

Cottin, ingénieur, 7, rue Fleury, Oullins (Rhône).

Courriot, 3, rue Logelbach, Paris.

Courtin, ingénieur en chef des Houillères de Commentry (Allier).

Courtot (Louis), à Dôle (Jura).

Cousin, ingénieur des Mines, 17, rue des Glacis, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Coxe (B.-Alexander), à Drifton, Pensylvanie (Etats-Unis).

Cuisinier (Ernest), Jemmapes (Belgique).

Curière de Castelnau, ingénieur en chef au Corps des Mines, Rodez (Aveyron).

Cuvelier (Eugène), Thomery (Seine-et-Marne).

Czyszkowski (Stéphen), 4, rue Mogador-Prolongée, Paris.

D'Albert, 21, rue des Cheneaux, Montmorency.

Daléas (Paul), 58, rue de Rome, Paris.

Dalverny, ingénieur aux Mines de Rochebelle, Alais (Gard).

Danton, 11, avenue de l'Observatoire, Paris.

Darodes, ingénieur à la Compagnie de la Grand'Combe, 17, rue Haxo, Marseille.

Darphin, ingénieur aux Mines d'Anzin, Vieux-Condé (Nord).

Davy, ingénieur civil des Mines, Châteaubriant (Loire-Inférieure).

De la Brière, 7, rue Saint-Lazare, Paris.

Debeau, ingénieur à Brousseval (Haute-Marne).

Deby (Julien), ingénieur, 31, Belzize, avenue South hampstead, Londres.

De Dietrich et Cie, maîtres de Forges, Niederbronn (Alsace).

Deghilage (Léopold), directeur de l'Atelier central des chemins de fer de l'Etat belge, à Mons.

Dehu (Désiré), directeur-gérant du Charbonnage des Vingt-Quatre Actions, à Quaregnon, près Mons (Belgique).

Delamare (Charles), Villeparisis (Seine-et-Marne).

DELANO, ingénieur civil, directeur de la Compagnie des Asphaltes, 117, quai Valmy, Paris.

DELAVILLE-LE ROUX, administrateur des Mines de la Grand'-Combe.

DELIGNE (Edmond), ingénieur à la Société métallurgique de l'Ariège, Pamiers.

DELMICHE, ingénieur, directeur-gérant des Mines de Drocourt, Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).

DELTEME, Mariemont (Belgique).

DELVAUX, 73, rue de la Montagne, Bruxelles.

DEMANDRES (Georges), directeur de la Société de Sclessin, à Tilleur, près Liège.

DEMANEST, 4, rue Mogador-Prolongée, Paris.

DEMARET (Jules), ingénieur au Corps des Mines, à l'Ecole des Mines de Mons, à Mons (Belgique).

DEMARET (Léon), ingénieur au Corps des Mines, à Mons (Belgique).

DEMAULT (Armand), à Havre-Ville (Hainaut), Belgique.

DEMENGE (Emile), ingénieur aux Aciéries de Longwy, Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle).

DEMERBE, rue du Mont-de-Piété, Mons (Belgique).

DEMONET, 19, rue de la Commanderie, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

DEMMLER, ingénieur, 5, avenue Lakanal, Bourg-la-Reine.

DENIS DE LAGARDE, ancien ingénieur, Conseil de l'Ambassade de France, à Madrid, 5, rue Galvini, Paris-Ternes.

DENOYELLE, 19, rue de la Rochefoucauld, Paris.

DESAILLY, ingénieur des Mines de Liévin (Pas-de-Calais).

DESPRÈS, maître de forges, Milourd-sur-Anor (Nord).

DESROZIERS, 74, rue Condorcet, Paris.

DESSENT (Jules), ingénieur aux Charbonnages de Bascoup (Belgique).

DEVERNE (François), ingénieur aux Mines de Douchy, Lourches (Nord).

DEVILLAINE (Félix), directeur des Houillères de Montrambert, 11, rue de Roanne, Saint-Etienne (Loire).

DINCQ, administrateur-délégué des Mines de Bruay, Bruay (Pas-de-Calais).

DIGNARON (Jacob), ingénieur, 5, cours Jovin-Bouchard, Saint-Etienne (Loire).

DINOIRE, ingénieur aux Mines de Lens, Liévin (Pas-de-Calais).

DOBRONIZKI (Alexandre), conseiller d'Etat, ingénieur des Mines, Saint-Pétersbourg, W. O. 2e Ligne, n° 29.

DODEMENT (Constant), 47, rue Mozart, Paris.

DOMAGE, ingénieur principal des Mines de Carmaux, à Carmaux (Tarn).

DORION, ingénieur, 21 *bis*, boulevard Malesherbes, Paris.

DOUGADOS (Jules), ingénieur des Mines, Rive-de-Gier (Loire).

DOURY, 51, rue d'Angoulême, Paris.

DOUVRELEUR, à Veauche, près Saint-Galmier (Loire).

DREUX (A.), Société des Aciéries de Longwy, à Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle).

DROUIN (Alexandre), 33, rue Charlot, Paris.

DRUAULT, Liège (Belgique).

DUBAR, directeur-gérant des Charbonnages de Pâturages et Wasmes (Belgique).

DUBOIS, ingénieur à Pouilly (Côte-d'Or).

DUC (Hector), ingénieur aux Mines de la Malafolie, par Le Chambon-Feugerolles (Loire).

DUKERS (Alfred), Obourg (Hainaut).

DULAIT père, ingénieur, métallurgiste, Charleroi (Belgique).

DUMAS (Louis), directeur des Usines de Commentry (Allier).

DU MESNIL, Sérifontaine (Oise).

DUMONT, agent général des Mines de Béthune, Bully-Grenay (Pas-de-Calais).

DUMONT, 51, rue Longue-d'Argile, Anvers (Belgique).

DUMONT (Fernand), maître de forges, Louvroil (Nord).

DUPUIS (Edmond), sous-directeur-adjoint de la Compagnie des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer, à Saint-Chamond (Loire).

DURAND, ingénieur à Derbières, par la Coucourde (Drôme).

DURASSIER, ingénieur civil des Mines, 53, avenue de Wagram, Paris.

DU ROUSSET, directeur des Mines de la Loire, Saint-Etienne.

DUVAL (Ed.), 51, rue de La Bruyère, Paris.

EICHHORN KOURAD Mohreusk, 10, Berlin.

EGLESTON, professeur de métallurgie et de minéralogie à l'Ecole des Mines de Naugort U. S., 35, W. Washington-Square.

ELOY, directeur des Mines de Plomb et Zinc argentifères, Pontpéant (Ille-et-Vilaine).

ESCALLE (Pierre), ingénieur aux Aciéries de Longwy (Meurthe-et-Moselle).

ESTIENNE, sous-ingénieur, la Grand'Combe (Gard).

EUVERTE, 6, rue de Seine, Paris.

EUVERTE (Jules), 6, rue de Seine, Paris.

EVRARD, 16, avenue de Courbevoie, Asnières.

EVRARD (Maximilien), Saint-Etienne (Loire).

EYNAC (Marius), ingénieur des Mines d'Aniche, à Dechy, près Douai (Nord).

FABRY, à Florence, Lung Arno Torrigiani, 7 (Italie).

FAGES (Auguste), directeur des Mines de Manganèse de Gambatesa (Ligurie), 18, avenue Notre-Dame, Nice (Alpes-Maritimes).

FAGÈS, directeur général des Charbonnages de Bernissard (Hainaut), Belgique.

FAURE, 65, rue Condorcet, Paris.

FAYOL, ingénieur, Moulins (Allier).

FÉRA, chef de service des Fonderies et Aciéries de Terni, 181, via Nazionale, Roma (Italie).

FÉRAND-GIRAUD, conseiller à la Cour de Cassation, 74, rue de Rennes, Paris.

FÈVRE, ingénieur des Mines, 10, rue du Collège, Alais (Gard).

FOULD-DUPONT, maître de Forges, Pompey (Meurthe-et-Moselle).

FOUQUEMBERG, ingénieur à Wasmes, près Mons (Belgique).

FOURNIER (Victor), 6, rue Gounod, Paris.

FRANEAU, directeur-gérant des Charbonnages du Rieu-du-Locur, à Mons (Belgique).

FRANQUET, ingénieur à Bascoup (Belgique).

FRANÇOIS, ingénieur en chef des Travaux du fond de la Compagnie d'Anzin, à Anzin.

FRANÇOIS, chef de service à la Société Cockerill, à Seraing.

FREUNDLER (Henri), ingénieur, 56, rue de la Victoire, Paris.

FUCHS, ingénieur en chef des Mines, 5, rue des Beaux-Arts, Paris.

FUMAT, ingénieur en chef des Mines de la Grand'Combe.

GABET (Henri), rue d'Italie, 16, Chambéry.

GACHTER (DE), ingénieur à Nevers (Nièvre).

GALLOS (Louis), secrétaire général des Aciéries du Saut-du-Tarn, 19, rue d'Athènes, Paris.

GALLOWAY (William), Cardiff (Angleterre).

GARCIN, ingénieur aux Mines de la Taupe, par Sainte-Florine (Haute-Loire).

GARDON, directeur des Mines de la Chapelle-sous-Dun (Saône-et-Loire).

GARNIER, au château de la Pierre-à-Durette, Quincié (Rhône).

GARRAS, ingénieur, Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine, Saint-Chamond (Loire).

GARREAU, professeur à l'Ecole des Maîtres mineurs d'Alais (Gard).

GASIOROWSKI, ingénieur à Boryslaw (Galicie).

GAUTIER, 3, rue Legendre, Paris.

GAUTIER, 44, rue de Rome, Paris.

GAYET, grande tuilerie mécanique, Balbigny (Loire).

GILBERT, directeur-gérant, à Dour (Belgique).

GIBON, 12, rue du Regard, Paris.

GILCHRIST, 101, Dalace Chamber, 9, Bridge St-Westminster, Londres.

GILLIEAUX, président de l'Association des Maîtres de Forges de Charleroi, à Charleroi (Belgique).

GIORDANO (Félice), Piazza san Bernado, 109, Rome (Italie).

GOBERT, ingénieur honoraire, 214, Chaussée de Charleroi (Bruxelles).

GODEAUX, ingénieur à Morlanwelz-lès-Mariemont (Belgique).

GOTTSCHALK (Alexandre), 13, rue Auber, Paris.

GOUMOENS (DE), directeur des Mines de Ronchamp (Haute-Saône).

GOUVY, ingénieur aux Forges de Dieulouard (Meurthe-et-Moselle).

GOUVY (Alexandre), 5, Schellmggosse, Vienne (Autriche).

GRAND'EURY, correspondance de l'Institut, professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne (Loire).

GRANGIER, ingénieur, 5, faubourg Saulnier, Paris.

GROBOT, directeur de l'Usine d'Assailly, Lorette (Loire).

GROSFILS, ingénieur, directeur-gérant de la Société des Charbonnages Fontaine-l'Evêque (Belgique).

GREINER (Adolphe), directeur général de la Société Cockerill, Seraing (Belgique).

GRILLE (Jules), 11, rue Nicolas-Mesnager, Rouen (Seine-Inférieure).

GRIÈVE (Juan), ingénieur de la Monnaie de Lima, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

GRUNER, 6, rue Férou, Paris.

GUARY, directeur général de la Compagnie d'Anzin (Nord).

GUDIN DU PAVILLON, ingénieur des Houillères de Portes, à la Vernarède (Gard).

GUICHARD, rue Zimmer (Bruxelles).

GUILHAUMAT, ingénieur à Agde (Hérault).

GUILLEMIN-TARAYRE, Grenade, Apartado, 16 (Espagne).

GUILLEMIN, 19, quai Saint-Michel, Paris.

HARDY, directeur général de la Société de Charbonnages belges, Quaregnon (Belgique).

HALLOPEAU, 24, rue de Lyon, Paris.

HARMEGNIES, Auby-lez-Douai, par Flers-en-Escrebieux (Nord).

HARMET, directeur des Aciéries de Saint-Etienne, 17, place Marengo, Saint-Etienne (Loire).

HANARTE, ingénieur civil à Mons (Belgique).

HATON DE LA GOUPILLIÈRE, directeur de l'Ecole des Mines, 60, boulevard Saint-Michel, Paris.

HARZÉ, directeur des Mines de Belgique, Bruxelles.

HENRI (Adolphe), 16, rue de la Grange, Saint-Mandé.

HENRIOT, ingénieur, 4, rue Verlé, Reims (Marne).

HERCHER (Henri), ingénieur, 42, rue du Chemin-Vert, Paris.

HERVEGH (Horace), 5, rue Nouvelle (rue de Clichy), Paris.

HEUPGEN, directeur des Mines de Carvin, à Carvin (Pas-de-Calais).

HÉNIN, ingénieur à Farcienne (Belgique).

HOCK, ingénieur à Isbergues (Pas-de-Calais).

HOLTZER, Unieux (Loire).

HOVINE, directeur général de la Société de la Providence, Marchienne (Belgique).

HUG (Paul), 37, rue de Lyon, Paris.

HUGOT (Ad.), ingénieur, Aciéries de Firminy (Loire).

HUMBLOT, ingénieur, directeur de l'Exp., à Carmaux (Tarn).

ICHON, ingénieur des Mines, à Angers (Maine-et-Loire).

IMBERT A., ingénieur, 58, rue d'Herbouville, Lyon.

Institut Industriel du Nord de la France, rue Jeanne-d'Arc, Lille (Nord). Directeur M. A. SOUBEIRAN, ingénieur au Corps des Mines.

ISAAC (Fernand), ingénieur principal du Grand-Buisson, à Hornu (Belgique).

ISAAC (Isaac), ingénieur principal des Charbonnages du Levant-du-Flenu, à Cuesmes (Belgique).

JACQUEMART, directeur des Usines d'Auberive (Ardennes).

JACQUEMIN, ingénieur, chef de service à la Société Cokerill, Seraing (Belgique).

JAMBILLE (Louis), administrateur directeur-gérant de la Société des Hauts-Fourneaux de Maubeuge, à Maubeuge (Nord).

JAMES KITSON BARONET, à Monk Bridp, Imlvordes Leed (Angleterre).

JANET, ingénieur au Corps des Mines, Valenciennes (Nord).

JAUNEZ SPONVILLE, Comptoir Démidoff, Saint-Pétersbourg.

JARDÉ, directeur des Usines de Tronçais, par Ainay-le-Château (Allier).

JASINSKI, maison J. Quirin (vis-à-vis de la Poste), Moscou, Miamtz Raja.

JAUSSEN, directeur général de la Compagnie des Explosifs, 24, rue des Douze-Apôtres, Bruxelles.

JOANNÈS (DE), ingénieur à Brousseval, par Wassy (Haute-Marne).

JORDAN, professeur à l'Ecole Centrale, 5, rue Viète, Paris.

JORDANOFF, ingénieur des Mines au Ministère des Finances, Sophia (Bulgarie).

JORRICO Y MESA, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

JOUBERT, boulevard Magenta, 45, Paris.

JOUNIAUX (Emile), ingénieur à Roux (Belgique).

KELLER, ingénieur en chef des Mines, 3, quai Malaquais, Paris.

KELLER, ingénieur, 19, rue de Varennes, Paris.

KISLANSKI (W. DE), 21, rue Wlodzimierska, Varsovie.

KLAUDY (Joseph), adjoint au Musée technologique, Vienne, IX Waihringeratrasse, 59 (Autriche).

KOEPPEN (DE), directeur des Mines, Ministère des Domaines, Saint-Pétersbourg.

KREUTZBERGER, 140, rue de Neuilly, Puteaux.

LACHAISE, 46, rue Ordener, Paris.

LAFORCE, ingénieur civil des Mines, Beaucaire (Gard).

LAMARCHE (Louis), ingénieur civil des Mines, directeur des Forges de Pompey, à Pompey (Meurthe-et-Moselle).

LANGLOIS, ingénieur en chef des Mines, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

LANGLOIS, 21, rue Béranger, Paris.

LA NEVE FOSTER (Clément), inspecteur royal des Mines, Llandndno, pays de Galles (Angleterre).

LARCHET, ingénieur civil à Yseure, près Moulins (Allier).

LARDY, chez Mme Dadole, Moulins (Allier).

LARSIMONT, ingénieur à Trazegnies (Belgique).

LATÈS (Eugène), ingénieur, 48, rue des Abbesses, Paris.

LAUR, inspecteur général des Mines, 11, avenue Jules-Janin, Paris.

LAVEISSIÈRE, 58, rue de la Verrerie, Paris.

LE CHATELIER, ingénieur au Corps des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris.

LEDOUX, ingénieur en chef des Mines, 12, place Vendôme, Paris.

LEFÈVRE-PONTALIS (Amédée), 47, rue Joubert, Paris.

LEGRAND, ingénieur à Frameries (Belgique).

LEGRAND (Charles), 47, rue des Palais, Bruxelles.

LEMONNIER, ingénieur, Bléneau (Yonne).

LENCAUCHEZ (Alexandre), 156, boulevard Magenta, Paris.

LENS (Société des Mines de), Lens (Pas-de-Calais).

LEROY, directeur des Mines de Bruay, à Bruay (Pas-de-Calais).

LESAFFRE, administrateur-gérant des Etablissements de Ferrière-la-Grande, par Maubeuge (Nord).

LESEURE, ingénieur en chef des Mines, à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne (Loire).

LEQUEUX, Rouilly-sur-Andelle, par Paul-Saint-Pierre (Eure).

LESPINATS (DE), Pont-Saint-Vincent (Meurthe-et-Moselle).

LEUR, major d'artillerie, avenue de Cortembert, Bruxelles.

LEVAVASSEUR, ingénieur mécanicien aux Mines de Béthune, Bully-Grenay (Pas-de-Calais).

LEVET, 15, rue Philibert-Guide, Chalon (Saône-et-Loire).

LÉTAUD, directeur des Forges de l'Eure, Conches (Eure).

LÉVY, ingénieur à la Compagnie du Gaz, 6, rue Condorcet, Paris.

LÉVY (Charles), directeur des Houillères de Bézenet et des Ferrières (Allier).

L'HOIR, rue de la Fontaine, Hornu (Belgique).

LHOMME (Emile), 175, rue Saint-Honoré, Paris.

LIBERT, ingénieur au Corps des Mines, Liège.

LIBOTTE, ingénieur aux Mines de Fléchinelle, par Estrée-Blanche (Pas-de-Calais).

LINDER, inspecteur général des Mines, 38, rue du Luxembourg, Paris.

LIPPMANN (Ed.), 36, rue de Chabol, Paris.

LODIN, ingénieur des Mines, 85, rue des Saint-Pères, Paris.

LOICQ DE LOBEL, directeur du journal *La Houille*, 40, rue Lafayette, Paris.

LOISEAU, ingénieur à Ougrée, près Liège (Belgique).

LOMBARD, ingénieur aux Mines d'or de Paris. (Adresser les documents à M. Brérault, rue Laffitte, 48, Paris.

LORIOL (DE), 46, rue Centrale, Lyon.

LORIEUX, inspecteur général des Mines, 45, rue Galilée, Paris.

MACKEHNIC (Carlos), agent général de la Compagnie Sud Américaine des Vapeurs, propriétaire de Mines (chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

MACQUET (Auguste), ingénieur au Corps des Mines, professeur de physique et d'électricité à l'Ecole des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, Mons (Belgique).

MAGERY, Roth-Eud, près Aix-la-Chapelle (province Rhénane).

MAHLER, ingénieur, 372, rue Saint-Honoré, Paris.

MAIGNEN, 4, place de l'Opéra, Paris.

MAILLIET, constructeur, Anzin (Nord).

MAITRE (Jean), ingénieur des Mines aux Forges de Morvillars (Haut-Rhin).

MALATRAY, ingénieur aux Mines de Nœux, à Barlin (Pas-de-Calais).

MALINOWSKI (Ernest), ingénieur en chef des Etudes et de la Construction des Chemins de fer Trausaudius de la Oroya de Huaraz, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

MALISSARD TAZA, Anzin (Nord).

MANHÈS (Pierre), directeur de la Société de Métallurgie du Cuivre, 1, rue Childebert, Lyon.

MANNE (Jacques), directeur-gérant de la Fonderie et Tréfilerie de bronze phosphoreux d'Anderlecht, 417, Chaussée de Mons, Bruxelles.

Marcinelle et Couillet (Société de), Couillet (Belgique).

MARIÉ, ingénieur à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, Paris.

MAROCCHINI, Perrugia (Italie).

MARREL (J.), Rive-de-Gier (Loire).

MARSAUT, ingénieur en chef des Houillères de Bessèges (Gard).

MARTELET (Joseph), 62, rue Blanche, Paris.

MARTIN, Dowelais Glamorgan (Angleterre).

MARTIN, ingénieur à Cransac (Aveyron).

MASSART, 44, rue Van Schoomebeke, Anvers (Belgique).

MASSON, 14, rue Desaudrain, Charleroi (Belgique).

Matériel et Traction du Chemin de fer de P.-L.-M., 20, boulevard Diderot, Paris.

MATHERON, ingénieur à la Compagnie de Belmez, à Penarroya, province de Cordoue (Espagne).

MATHET, ingénieur en chef des Mines de Blanzy, Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire).

MATHEVON, ingénieur aux Mines de Lavoulte (Ardèche).

MATHIEU, 34, rue de Courlancy, Reims.

MAUSSIER (Pierre), ingénieur civil à Saint-Galmier (Loire).

MAZODIER (Joseph), ingénieur aux Houillères de Montrambert, près Saint-Etienne (Loire).

MERCIER, ingénieur-chimiste du Service des Mines, à Tunis.

METZ (Edouard), ingénieur à Eich, près Luxembourg (Grand-Duché).

METZ (Gustave), Dommeldange (Grand-Duché de Luxembourg).

METZ (Léon), Esche-sur-l'Alzette (Grand-Duché de Luxembourg).

MEYER (Jean), Dudelange (Grand-Duché de Luxembourg).

MICHEL, ingénieur aux Charbonnages des Bouches-du-Rhône, Gréasque (Bouches-du-Rhône).

Mines de Carmaux, 11, avenue de l'Opéra, Paris.

MOISSENET, ingénieur en chef des Mines, Chaumont (Haute-Marne).

MOLLOND, 11, rue de Médicis, Paris.

MONTAIRO (Severiano), ingénieur des Mines, Lisbonne.

MONTEFIORE LEVI (Georges), sénateur, 35, rue de la Science, Le Rond-Chêne, par Esneux (Belgique).

Montrambert et la Béraudière (houillères), 4, quai de l'Hôpital, Lyon.

MORICAND (Philippe), 101, boulevard Malesherbes, Paris.

MORRIS, Pamiers (Ariège).

MOUCHET (Em.), ingénieur à Ganges (Hérault).

MOYAUX (Léon), Morlanwelz (Belgique).

MULLER, ingénieur industriel à Esche-sur-l'Alzette (Grand-Duché de Luxembourg).

MULLOY (Juan), entrepreneur de travaux publics, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

MUNCHER (Alphonse), ingénieur, Grand-Duché de Luxembourg.

MURISIER, Aciéries d'Alexandrowski, Saint-Pétersbourg.

MUSSY, ingénieur en chef des Mines, 9, rue Boccador (quartier Marbeuf), Paris.

NAN, directeur des Mines de Villebœuf, place de l'Hôtel-de-Ville, Saint-Etienne.

NAVEZ (Alfred), ingénieur, directeur des Travaux du Charbonnage de Marchienne (Belgique).

NIVOIT, 2, rue de la Planche, Paris.

NOBLET (Paul), directeur de Verreries, Haine-Saint-Pierre (Belgique).

NYST, ingénieur, 23, rue Méan, Liège (Belgique).

OLAECHEA (Théodorica), docteur ès-sciences, professeur de l'Ecole des Ingénieurs, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

OLIVIER (Henri), ingénieur aux Mines de Gagnières (Gard).

OLRY, ingénieur en chef des Mines, 6 *bis*, cité Malesherbes, rue des Martyrs, Paris.

ORCEL, 215 *bis*, boulevard Saint-Germain, Paris.

OSMOND, ingénieur civil, 83, boulevard de Courcelles, Paris.

OZARZABAL, directeur des Mines de Almaden (Espagne).

OZIER, ingénieur chez M. Besset, directeur de la Compagnie de Montrelais, par Ingrande-sur-Loire (Maine-et-Loire).

PANSE, ingénieur aux Forges de Bessèges (Gard).

PARAF, 17, rue de Grammont, Paris.

PARRAN, ingénieur en chef des Mines, directeur de la Compagnie de Mokta-et-Hadid, 26, avenue de l'Opéra, Paris.

PASQUIER, ingénieur, 35, rue Agimont, Liège.

PÉNY, Mariemont (Hainaut), Belgique.

PÉREIRE (Emile), 10, rue Vigny, Paris.

PÉRISSÉ, ingénieur, vice-président de la Société des Ingénieurs civils, 12, rue de Turin, Paris.

PERREAU (Luigy), directeur des Mines, Via Cernaja, n° 2, P. 1.

PERRIN, ingénieur en chef des Mines, 5, rue Erpell, Le Mans (Sarthe).

PETIT (Paul), ingénieur à Haine-Saint-Pierre (Hainaut), Belgique.

PETITJEAN, administrateur de la Société Minière du Tarn, 18, rue Marbeuf, Paris.

PETITJEAN (Alphonse), 13, rue de Bruxelles, Paris.

PETITON, ingénieur civil, 91, rue de Seine, Paris.

PIÉRART, ingénieur, directeur-gérant des Charbonnages de Bonne-Espérance de Lambusart, à Farciennes (Belgique). Poste restante.

PFLUCKER Y RICO (Léonard), docteur ès-sciences, président de la Société de Géographie, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

PHILIPPART (Alfred), directeur technique des Aciéries d'Isbergues (Pas-de-Calais).

PINAT et Cie, Hauts-Fourneaux et Forges d'Allevard, à Allevard (Isère).

PINEL, sous-directeur des Houillères de Montrambert, à La Ricamarie (Loire).

PINETTE (Chalon-sur-Saône).

PINGET (Henri), 52, rue Caumartin, Paris.

PIRET, propriétaire des Mines et Fonderies de Charrier-la-Prugne (Allier), avenue Kléber, 73, Paris.

PLUMAT, ingénieur des Mines du Grand-Hornu, à Hornu (Belgique).

POCQUET, ingénieur principal des Mines de la Loire, Saint-Etienne.

PONCHEZ, ingénieur principal de la Société Belleville, Saint-Denis (Seine).

PORTIER, directeur-gérant des Mines de Courrières, Billy-Montigny (Pas-de-Calais).

POUMAIRAC, directeur de la Compagnie de Ferfay, Auchel (Pas-de-Calais).

POURCEL, ingénieur à Saltburn by-The-Sea (Yorkshire).

POZZY (Sosthène), ingénieur, 143, quai de Valmy, Paris.

PRIMAT, ingénieur des Mines, 6, rue du Chambon, Saint-Etienne (Loire).

QUILLACQ (DE), Anzin (Nord).

RACTMADOUX, ingénieur à Annecy (Haute-Savoie).

RAOUL DUVAL, 53, rue François Ier, Paris.

REBUFFET, directeur de Hauts-Fourneaux, Frouard (Meurthe-et-Moselle).

REGO LIMA (J.-M. DO), ingénieur des Mines, Lisbonne.

REMAURY, ingénieur civil, 81, rue Saint-Lazare, Paris.

RÉNEVILLE, 6, rue Voltaire, Grenoble.

RENIÉ, le Gros-Ménil, par Sainte-Florine (Haute-Loire).

RÉSIMONT, administrateur-directeur de la Société anonyme des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est, Valenciennes (Nord).

RETZ (G. DE), directeur des Mines et Usines de la Compagnie de Châtillon et Commentry, Villerupt (Meurthe-et-Moselle).

REUMAUX, ingénieur en chef des Mines de Lens (Pas-de-Calais).

REYMOND, ingénieur aux Mines de Firminy, à La Malafolie-Chambon (Loire).

RIGAUD, ingénieur, à Prauthoy (Haute-Marne).

ROBERT (Gustave), ingénieur administrateur des Forges et Aciéries de Stenay (Meuse), 32, avenue de la Dame-Blanche, Fontenay-sous-Bois (Seine).

ROBERTY-LIEUTERMANS, 63, rue des Drapiers, Yselles-lès-Bruxelles (Belgique).

ROBERTS AUSTEN, professeur à l'Ecole des Mines, Royal Mint (London).

ROBINET, ingénieur principal des Mines de Vicoigne, Nœux (Pas-de-Calais).

Roche-la-Molière et Firminy (Compagnie des Mines de), Firminy (Loire).

ROCOURT, ingénieur honoraire des Mines, Liège (Belgique).

ROGÉ, maître de Forges à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).

ROGER (Nestor), ingénieur des Charbonnages réunis, Charleroi.

ROGNETTA, administrateur des Fonderies et Aciéries de Terni, 181, via Nazionale, Roma.

ROLAND, ingénieur, Usine de Solvay, Hoire-Ville (Hainaut).

ROLLAND, chef de service de la Société Cokerill, quai Neuf, Seraing (Belgique).

ROLLET (A.), ingénieur métallurgiste, 17, rue de la Bourse, Saint-Etienne (Loire).

ROMAN ORIOL, ingénieur en chef des Mines, professeur d'exploitation des Mines à l'Ecole supérieure des Mines de Madrid.

RONIQUEUX, ingénieur à Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).

ROUSSEAU, capitaine, Atelier de l'artillerie, Puteaux.

ROUSSEL, administrateur de la Compagnie Houillère d'Ahun, 15, Chaussée-d'Antin, Paris.

ROUX, ingénieur civil, à la Roques-Genest, par Saint-Clair (Manche).

ROUY, ingénieur principal des Mines de Dourges, Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).

SAINT-PHALLE (DE), Bourges (Cher).

SALEILLES, Beaune (Côte-d'Or).

SAVIOZ (Ernest), ingénieur civil des Mines à Mont-Saint-Martin, près Longwy (Meurthe-et-Moselle).

SCHNEIDER, 32, rue Ville-L'Evêque, Paris.

SCHMITZ, 58, rue Saint-Joseph, Anvers (Belgique).

SEBERT (colonel), directeur du Laboratoire central de la Marine, 11, boulevard Morland. — Domicile, 13, rue de la Cerisaie, Paris.

SEIBEL, directeur des Mines de Campagnac, à Cransac (Aveyron).

SEPULCHRE, 4, rue de Calais, Paris.

SÉPULCHRE (Victor), Maxéville, près Nancy.

SERVAIS (Paul), Ehrang, près Trèves (Prusse rhénane).

SERVAIS (Emile), Grand-Duché de Luxembourg.

SERVAIS, ingénieur industriel (Grand-Duché de Luxembourg).

SILHOL (Alfred), 58, boulevard Malesherbes, Paris.

SIMON (Auguste), ingénieur aux Mines de Liévin, à Liévin (Pas-de-Calais).

SIMON, membre de la Société de l'Industrie minérale, ingénieur aux Houillères de Styring, à Petite-Roselle (Lorraine).

SIMON (Louis-Réné), 12, rue de la République, Saint-Etienne (Loire).

SIMON, hôtel des Mines de Graissessac, Montpellier.

SIMON (Nicolas), Hussigny (Meurthe-et-Moselle).

SIMONT (Auguste), à la Société anonyme des Forges de Clabecq, 10, rue Blanche, Bruxelles.

SINNER (Charles DE), villa Bock, Nyon, canton de Vaud (Suisse).

SIROT, Trith-Saint-Léger (Nord).

Société anonyme des Forges de Franche-Comté, Besançon (Doubs).

Société anonyme du Métal Delta et des Alliages métallurgiques, 56, rue de la Victoire, Paris.

SOTTIAUX (A.), ingénieur, directeur de la Société anonyme des Charbonnages, Hauts-Fourneaux et Usines de Strepy-Bracquegnies, à Bracquegnies (Belgique).

SOUHART, ingénieur, 99, avenue Villiers, Paris.

SOUHEUR, directeur-gérant de la Société Charbonnière des Six-Bonniers, Seraing-sur-Meuse (Belgique).

SOUPART (Auguste), ingénieur, directeur des Travaux des Charbonnages du Gouffre, Chatelineau (Belgique).

SOUZA BRANDAO, ingénieur des Mines, Lisbonne.

SPIERTZ (Léon), ingénieur à la Société de la Vieille-Montagne, Angleur-lez-Liège (Belgique).

STACH (Frédéric), conseiller impérial royal des Travaux publics, Vienne (Autriche); à Paris, hôtel Continental.

STUDER (Henri), 24, rue d'Anjou, Paris.

STUTZ (Sébastien), ingénieur des Mines, 19, boulevard de la Liberté, au Perreux (Seine).

SUISSE, Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire).

SUSZYCKI (Zénon), directeur de Mines, 23, rue Kopernic, Lemberg (Autriche).

SYROCZYNSKI (Léon), ingénieur, membre du Jury à l'Exposition Universelle de 1885, membre du Conseil communal, Lemberg (Autriche), 15, rue de Rome, Paris.

TASKINE (Eugène DE), ingénieur et inspecteur des Mines du Donetz (Russie méridionale), conseiller d'Etat à Kharkoff (Russie).

TAUZIN, ingénieur au Corps des Mines, professeur à l'Ecole des Mines, 47, rue de la République, Saint-Etienne (Loire).

TEMPLE ELLICOTT, 41, rue Washington, Paris.

TERMIER, ingénieur au Corps des Mines, rue Saint-Honoré, Saint-Etienne.

THIÉBAUT, ingénieur à Marchienne-au-Pont (Belgique).

THOMAS, ingénieur, directeur à Elouges, près Mons (Belgique).

THOMAS, ingénieur, directeur des Forges d'Eurville (Haute-Marne).

THOMSON (Eugène), ingénieur, directeur à Dortmund (Westphalie), 36, Ostwall.

TIMMERHANS, ingénieur à la Vieille-Montagne, Calamine (Belgique).

TRESTON, directeur-administrateur délégué de la Société anonyme des Hauts-Fourneaux de la Chiers, Longwy (Meurthe-et-Moselle).

TROPENAS, ingénieur, 149-151, rue Oberkampf, Paris.

ULMO, maître de Forges à Rimaucourt (Haute-Marne).

VALDIZAN DARIO, ingénieur civil, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes, Paris.

VALTON, ingénieur métallurgiste, 166, faubourg Saint-Honoré, Paris.

VAN DE VOORDE, 57, boulevard du Nord, Bruxelles.

VAN LANGHENHOVE, Haren (Belgique).

VAN DE LEEMPUT, 9, avenue d'Hyon, Mons (Belgique).

VAN HOCGARDEN BRACONIER, membre du Conseil provincial, 7, boulevard d'Airog, Liège.

VERDIÉ (Jean), ingénieur, 3, avenue Carnot, Paris.

Verreries de Mariemont, à Morlanwelz (Belgique).

WERTHEMAN (Arthur), ingénieur de l'Etat, chez M. Galezowski, 85, boulevard Malesherbes.

VERTONGEN, ingénieur à Termonde (Belgique).

VIALA, directeur des Mines de Liévin, à Liévin (Pas-de-Calais).

VIALLA, ingénieur, directeur des Mines de Lalle, Bessèges (Gard).

VIER, 10, place du Palais-de-Justice, Saint-Etienne (Loire).

VILLIERS, directeur des Houillères de Saint-Etienne (Loire).

VILLOT, inspecteur général des Mines, 11, rue de l'Odéon, Paris.

VINCENS (Charles), ingénieur à Privas (Ardèche).

VINCOTTE (Henri), ingénieur, directeur de la Compagnie des Bronzes phosphoreux Montefiore, Saint-Denis (Seine).

VISSOUL, 33, rue Vendermersch, Bruxelles.

VITAL, ingénieur en chef au Corps des Mines, rue Rodriguès-Pereire, Bordeaux.

VOISIN, directeur des Mines de Dourges à Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).

VOISIN (Honoré), ingénieur en chef de la Compagnie des Mines de Roche-la-Molière et Firminy, à Firminy (Loire).

VUILLOT (Alfred), ingénieur en chef des Mines de Marles à Auchel (Pas-de-Calais).

WALKENAERT (Charles), ingénieur des Mines, 9, rue Bayard, Paris.

WELLENSTEIN, Ehnen (Grand-Duché de Luxembourg).

WERLER (Julien), ingénieur du Matériel des Charbonnages de Mariemont et de Bascoup à Morlanwelz (Hainaut), Belgique.

WERY, directeur des Mines de la Chazotte, près Saint-Etienne (Loire).

WILTZ, directeur de l'Usine de Monterhouse, par Bannstein (Lorraine).

WORMS DE ROMILLY, ingénieur en chef des Mines, 7, rue Balzac, Paris.

WUILLA (Joseph), Morlanwelz (Belgique).

WURGLER, ingénieur, professeur à l'Ecole Centrale, rue Viète, 7, Paris.

ZIPPERLEN, Salsomaggiore (Italie).

ZUAXNAVAR, ingénieur, chef du Corps des Mines d'Espagne, demeurant à Bilbao et 142, rue de la Tour, Passy.

ZYROMSKI, directeur technique des Usines de la Société de Commentry-Fourchambault, à Fourchambault (Nièvre).

II° PARTIE

PROCÈS-VERBAUX DÉTAILLÉS DES SÉANCES

DU CONGRÈS

Séance d'ouverture.

Lundi 2 septembre 1889.

La séance est ouverte à 2 heures.

M. CASTEL, président du Comité d'organisation du Congrès international des mines et de la métallurgie, prend place au fauteuil, et, près de lui, s'asseyent au bureau : MM. Haton de La Goupillière, Jordan, Gillon, Martelet, Rémaury, Arnould, etc.

M. le Président invite à prendre place au bureau MM. les membres du Comité d'organisation du Congrès international des mines et de la métallurgie et MM. les membres d'honneur.

M. le Président prononce ensuite l'allocution suivante :

« Messieurs,

« C'est pour moi un grand honneur que d'être appelé, comme président du Comité d'organisation de ce Congrès, à vous souhaiter la bienvenue. C'est à la fois un honneur et un devoir dont je m'acquitte avec le plus grand plaisir, et je remercie de tout cœur les ingénieurs, venus non seulement de toutes les régions de la France, mais encore de l'étranger, et dont quelques-uns sont venus de très loin pour répondre à l'appel que nous leur avons adressé.

« Le Gouvernement français, Messieurs, a pensé que l'Exposition universelle de 1889 était une occasion, comme il s'en présente rarement, de réunir les personnes qui, dans le monde entier, s'occupent des mêmes questions et se livrent aux mêmes études, de les rapprocher les unes des autres, de les appeler à délibérer sur leurs affaires communes, et nous ne saurions trop le remercier de son initiative en ce qui concerne les mines et la métallurgie.

« Nos industries existent en effet partout, et elles ont pris depuis longtemps déjà un grand développement, non seulement en France et dans les pays d'Europe, mais encore dans les pays d'outre-mer, dont il suffit de citer un seul, l'Amérique du Nord, pour indiquer l'importance qu'elles y ont acquise. On peut dire que partout, dans le monde entier, il existe des ingénieurs que les mêmes questions intéressent, qui travaillent au même but, qui cherchent de nouvelles méthodes, de nouveaux perfectionnements à l'industrie. Ce qui est trouvé à cet égard en un point du globe profite aux autres, et cela au grand avantage de l'humanité tout entière, dont l'intérêt est de voir multiplier les produits qui accroissent son bien-être, et de pouvoir les acquérir à meilleur marché.

« Ce n'est pas que les ingénieurs manquent de moyens de communication entre eux, et que les progrès réalisés en un point restent longtemps ignorés du reste du monde. Partout il existe des associations entre ceux qui travaillent au même but, et de nombreuses publications divulguent et répandent les nouvelles découvertes ; mais rien ne vaut, pour atteindre ce but, des réunions comme celles-ci, où les idées peuvent être rapidement et clairement échangées, des théories émises, des objections présentées, et où la lumière peut se

faire, suivant le vieux proverbe, par le choc des opinions.

« Et quelle plus magnifique occasion pour un Concile de ce genre que cette Exposition sans pareille, où tous les produits du monde se trouvent rassemblés dans des conditions absolument exceptionnelles, où il nous est donné de voir et de toucher en quelques heures ce que de longs voyages et des années entières nous permettraient à peine d'apercevoir de loin en loin, où nous trouvons réunis, soit comme modèles, soit comme dessins, tous les appareils de l'industrie minière et métallurgique ! C'est en quelque sorte en face des mines et des usines elles-mêmes que nous traiterons les questions qui les intéressent, et les résultats de nos discussions n'en seront que plus nets et plus probants.

« Votre Comité d'organisation, Messieurs, s'est trouvé en face d'une réelle difficulté, celle de choisir les questions qui devaient être soumises à votre examen. Son embarras, il faut le dire, venait surtout de l'abondance des matières ; l'exploitation des mines et le traitement des métaux présentent tant de points de détail, tant de branches susceptibles de progrès, malgré les progrès déjà réalisés, et qui sont pour ainsi dire incessants !

« Je n'ai pas la prétention de vous donner ici un tableau, même résumé, de ces progrès ; il faudrait trop de temps, et je craindrais d'être forcément incomplet. Permettez-moi seulement de vous rappeler, aussi succinctement que possible, les objets principaux sur lesquels ces progrès ont porté.

« Dans les mines, je citerai d'abord les méthodes d'exploitation, que l'on tend de plus en plus à modifier et à améliorer, dans le but d'obtenir du travail de l'homme le plus grand rendement possible, de diminuer le prix de revient, d'arriver à l'utilisation la plus com-

plète des gîtes minéraux, et enfin d'assurer la sécurité des ouvriers.

« Les procédés de sondage ont fait depuis assez longtemps déjà de notables progrès, et la galerie des machines vous présentera à cet égard de remarquables outillages. Il en est de même du fonçage des puits, qui offre des difficultés de plus en plus grandes, à mesure que les exploitations deviennent plus anciennes et que les puits s'approfondissent ; en particulier, la traversée des terrains morts et des niveaux d'eau abondants ont amené l'emploi de méthodes nouvelles, parmi lesquelles on peut citer le procédé Pœtsch, sans oublier le procédé plus ancien de MM. Kind et Chaudron.

« L'emploi de l'air comprimé dans l'abatage s'est généralisé avec l'introduction des bosseyeuses et des haveuses, et la production elle-même de cet agent puissant et commode a donné lieu à la création de diverses machines. En outre, la convenance de supprimer l'abatage à la poudre dans les mines grisouteuses a conduit les ingénieurs à l'emploi de procédés spéciaux, comme le tirage à la chaux et l'aiguille infernale. Pour l'usage ordinaire de la poudre, on peut citer comme procédé nouveau l'excavateur Plom et d'Andrimont.

« Vous savez que l'emploi de la poudre dans les mines moyennement grisouteuses, emploi qu'il est bien difficile de supprimer, surtout pour les attaques au rocher, a donné lieu à de longues et patientes études à l'effet de découvrir un explosif dont l'inflammation soit à peu près sans danger pour le grisou ; elles paraissent avoir réussi.

« Un des points sur lesquels l'attention des exploitants s'est depuis longtemps portée, tant au point de vue des gaz dangereux que dans l'intérêt général de la santé des mineurs, est l'aérage. Des études très remar-

quables ont été faites sur cette question, entr'autres par M. Murgue. On tend de plus en plus à simplifier les courants d'aérage et à les faire passer directement sur les fronts de taille, sans dissémination. On cherche d'ailleurs à rendre cet aérage aussi actif que possible, c'est pourquoi la question des ventilateurs a pris une réelle importance, et, avec le ventilateur type Guibal, d'autres plus récents, comme ceux des systèmes Farcot et Ser, se disputent la préférence. Enfin l'usage des mesures périodiques de la ventilation s'est généralement répandu.

« Relativement à l'éclairage, on peut citer également de nombreuses études et des perfectionnements sérieux des lampes de sûreté. Les modifications apportées à la lampe Mueseler ont produit les types Marsaut, Fumat, Baretta, Cambessèdes. On a cherché aussi pour ces lampes des fermetures nouvelles, les mettant à l'abri de l'imprudence des ouvriers ; après la fermeture magnétique Villiers sont venus la fermeture au plomb et les systèmes Catrice et Cuvelier.

« Je dois mentionner encore les perfectionnements apportés aux transports intérieur et extérieur, à la construction des voies ferrées, à celle des berlines, au graissage de leurs essieux, à l'installation des plans inclinés, où des mesures de sécurité spéciales sont si nécessaires, à l'organisation générale du roulage par l'introduction de la méthode circulaire ; puis, dans un autre ordre d'idées, au soutènement des galeries, pour lequel l'emploi des cadres en fer a fait son apparition dans plusieurs mines importantes ; au remblayage, de plus en plus soigné. Je citerai en outre l'emploi de plus en plus fréquent de la traction mécanique, soit dans les grandes galeries, soit à l'extérieur, tant au moyen de locomotives spéciales à eau chaude ou à air comprimé qu'au moyen de chaînes flottantes et de câbles aériens.

« Dans beaucoup de mines, autrefois dévastées par les incendies, l'amélioration des méthodes d'exploitation les a fait disparaître. Les ingénieurs savent aujourd'hui beaucoup mieux les combattre, par des barrages soignés et par la méthode de l'embouage.

« Avec l'approfondissement des puits il a fallu nécessairement avoir recours à des machines d'extraction et d'épuisement plus puissantes et plus parfaites ; il faut dire que les constructeurs se sont montrés largement à la hauteur de cette tâche, et vous pourrez voir à l'Exposition plusieurs types remarquables, présentant de réels perfectionnements. Vous y rencontrerez aussi plusieurs exemples de guidages en fer pour puits, avec parachutes, et plusieurs systèmes d'évite-molettes, avec arrêts ou ralentissements automatiques. D'autres systèmes, créés en vue de la sécurité, seraient encore à citer, comme celui de l'enclenchement des portes de recettes du fond et du jour avec la machine.

« Je puis vous citer encore, en ce qui concerne l'épuisement, une certaine tendance à l'installation de machines souterraines ; et, pour les machines extérieures à balancier, un perfectionnement ingénieux apporté au système Bochkoltz par M. Rossigneux.

« L'électricité a fait, depuis quelques années déjà, son apparition dans l'intérieur des mines. Elle y est employée non seulement pour les signaux et pour l'éclairage, mais encore comme force motrice. Elle paraît appelée, à ce point de vue, à jouer un rôle important là où l'absence du grisou rend son emploi possible. La commodité du transport de la force par ce moyen donne en effet la possibilité d'installer partout des machines, et, par exemple, d'exploiter en vallée, en se dispensant de la construction de travers-bancs longs et coûteux.

« La préparation mécanique des minerais et le

lavage de la houille ont été aussi l'objet de progrès notables réalisés dans ces dernières années.

« Enfin, Messieurs, je ne puis passer sous silence les études si remarquables des bassins houillers qui ont été faites récemment par plusieurs ingénieurs et savants ; nous avons vu en particulier l'étude des végétaux fossiles devenir un puissant moyen de reconnaissance des différents étages d'un même bassin, et rendre aux travaux de recherches de précieux services ; et celle des roches qui constituent les couches de grès employée à déterminer, de la façon la plus ingénieuse et la plus précise, la manière dont ces bassins se sont formés, à retracer en quelque sorte l'histoire de cette formation et l'orographie de ces temps si reculés.

« Messieurs les métallurgistes doivent commencer à croire que je les ai oubliés ; mais il n'en est rien. Au besoin, d'ailleurs, ils se rappelleront à nous, et d'une façon éclatante, par les merveilles dont ils éblouissent nos yeux dans cette Exposition. Eux aussi ont fait des progrès, plus sensibles peut-être que ceux des mineurs et, en tout cas, plus apparents, parce qu'ils ne se cachent pas sous terre.

« Que de changements dans la métallurgie du fer depuis vingt ans ! Que dis-je, du fer ? Il n'en faut plus parler ; c'est l'acier seul aujourd'hui que l'on voit ; il a presque partout supplanté le fer, humble métal auquel il a enlevé à peu près tous ses emplois. C'est sur un rail d'acier que roulent nos locomotives et nos wagons ; c'est de la tôle d'acier qui constitue la plus grande partie de nos chaudières et de nos navires ; c'est l'acier qui forme nos charpentes métalliques ; c'est encore lui qui nous donne les blindages de nos cuirassés, les tubes de nos canons et les projectiles de notre artillerie.

« Quelle transformation a subie notre métallurgie

dans ces vingt années! Cela est dû au Bessemer d'abord, et au Martin-Siemens; puis est venu le procédé Thomas-Gilchrist, dont l'effet a été, non seulement d'utiliser des minerais regardés jusque là comme impropres à la fabrication de l'acier, mais encore de réduire dans une notable proportion les prix de revient, et de déplacer les grands centres de fabrication.

« Quel changement dans la puissance de production des hauts-fourneaux, dans l'installation des forges et des laminoirs! Quelle précision apportée dans la production du métal, suivant la résistance qu'il doit présenter, et les qualités spéciales qu'on attend de lui! Quels services rendent les laboratoires, aujourd'hui annexés à presque toutes les usines, et les appareils de mesure, de plus en plus perfectionnés!

« Les énormes marteaux-pilons de 100 tonnes, employés au martelage de pièces colossales, les immenses fosses où les mêmes pièces reçoivent la trempe, soit à l'huile, soit au plomb fondu, le forgeage à la presse, constituent autant de créations et d'inventions récentes, sans lesquelles la production des grands canons et des plaques de cuirasse aurait été impossible. Et, à côté de ces travaux de Cyclopes, ne doit-on pas citer les travaux plus délicats, mais non moins difficiles peut-être, que permettent d'accomplir les progrès de l'emboutissage et la fabrication des pièces sans soudure?

« On est arrivé aujourd'hui à fondre des pièces d'acier, même sous la forme de tubes cylindriques de grand diamètre, comme on aurait cru autrefois ne pouvoir le faire qu'avec la fonte. Et puis que d'alliages nouveaux de fer et d'autres métaux, possédant chacun des propriétés spéciales et répondant à un besoin particulier! le ferro-chrome, l'acier au tungstène, l'acier au manganèse, le ferro-manganèse, le ferro-silicium, et tout récemment encore l'acier à l'aluminium.

« La métallurgie des métaux autres que le fer a subi aussi des transformations. Pour le plomb et l'argent, c'est le pattinsonnage à la vapeur, puis au zinc, procédés qu'on peut aujourd'hui regarder presque comme anciens; pour le cuivre, c'est le procédé Manhès et aussi l'électrolyse. La production du nickel a pris une grande extension depuis la découverte des mines de la Nouvelle-Calédonie. L'aluminium enfin, susceptible de tant d'usages, soit à l'état pur, soit à l'état d'alliages, a été l'objet d'études récentes qui ont abouti à la découverte de plusieurs procédés différents, mais dont le résultat final paraît devoir être la réduction notable du prix de ce métal, resté si longtemps trop élevé pour que la consommation en pût s'étendre.

« Enfin de nouveaux alliages métalliques ont vu le jour dans ces dernières années, et vous en trouverez à l'Exposition plus d'un specimen.

« Parmi tant de questions, sur lesquelles votre attention aurait pu être appelée, et dont la discussion aurait certainement été très attachante, votre Comité d'organisation, obligé de se limiter à cause du temps, en a choisi un certain nombre qui lui ont paru offrir un intérêt particulier : les unes, comprises dans celles qui concernent les mines, parce qu'elles ont une importance spéciale au point de vue de la sécurité, les autres parce qu'elles ont trait à des fabrications et à des procédés tout récents.

« Pour les mines, c'est d'abord la question des lampes de sûreté, puis celle de l'emploi des explosifs, les applications diverses de l'électricité aux travaux souterrains, enfin les questions se rapportant à la montée, à la descente et à la circulation des ouvriers mineurs.

« Pour la métallurgie,ce sont les progrès récents de l'affinage et de la déphosphoration, le forgeage comparé

au pilon et à la presse, la fabrication, les propriétés et l'emploi des alliages ferro-métalliques, les nouveaux alliages des métaux autres que le fer, et spécialement du cuivre, enfin les nouveaux procédés de trempe.

« Sur ces questions, des rapporteurs dont nous ne saurions trop louer le zèle et à qui nous exprimons ici hautement notre reconnaissance, choisis d'ailleurs parmi les ingénieurs les plus compétents, ont rédigé des notices qui vous ont été ou vous seront distribuées et qui doivent servir de base à la discussion. Ceux d'entre vous qui auraient des observations à présenter ou des documents nouveaux à faire connaître sur ces questions sont priés de le faire afin qu'elles soient élucidées autant que possible.

« En outre de ces questions pour ainsi dire officielles, il pourra en être traité d'autres suivant le temps qui restera libre. Déjà quelques-unes nous ont été indiquées. Nous prions les membres qui en auraient à présenter de nouvelles de les faire connaître à l'avance au Bureau, qui fera droit, dans la mesure du possible, aux demandes qui lui seront adressées à cet égard.

« C'est tous les jours, à 2 heures, jusqu'au 11 septembre inclusivement, sauf dimanche, que le Congrès se réunira ici pour ces conférences. Nous avons pensé en outre que, pour donner plus de latitude aux convenances de chacun, il serait bon de faire alterner les conférences sur les mines et celles sur la métallurgie ; les premières auront donc lieu les 3, 5, 7 et 10 septembre, les secondes les 4, 6, 9 et 11, sauf, si cela devenait nécessaire, à doubler les réunions dans les derniers jours.

« Des visites à l'Exposition auront lieu tous les jours, excepté le dimanche, de 9 heures à 11 heures 1/2 du matin. Nous avons cherché à les organiser de façon que tous les membres du Congrès pussent en profiter dans

des conditions excluant toute confusion, et qu'un nombre restreint de visiteurs se présentât en même temps devant chaque exposition. A cet effet, les membres du Congrès ont été partagés en seize groupes; chaque jour deux de ces groupes visiteront la même série d'exposants, mais en partant d'un point initial différent. Les groupes ont été formés d'après l'ordre alphabétique et chacun de vous recevra une note lui indiquant à quel groupe il appartient et l'itinéraire qui doit être suivi par ce groupe pour chaque jour. Nous ferons notre possible pour que chaque groupe ait un guide qui puisse le conduire en le faisant arrêter devant les expositions les plus importantes; il sera en effet nécessaire de limiter un peu le choix, car il faudrait beaucoup plus de temps que celui dont nous pouvons disposer pour visiter tout en détail.

« Nous espérons, Messieurs, que ces visites et nos réunions profiteront à chacun de nous; que tous, après ces quelques jours passés ensemble, nous nous en retournerons satisfaits de ce que nous aurons vu et entendu, notre bagage scientifique et industriel un peu augmenté, avec le regret que cette bonne réunion entre collègues et amis ait été trop courte et avec le désir de la voir se renouveler le plus tôt possible. »

M. le Président demande au Congrès de procéder immédiatement à la nomination d'un Bureau définitif.

Cette proposition est acceptée et M. Castel est élu par acclamation président du Congrès.

Après avoir remercié l'Assemblée de l'honneur qui vient de lui être conféré, il lui propose de désigner comme vice-présidents, MM. Brull, Haton de la Goupillière, Jordan, Rémaury, qui remplissaient les mêmes fonctions dans le Comité d'organisation, M. Arnould, directeur général des mines de Belgique, M. Gillon,

professeur à l'Université de Liège, M. Roberts Austen, professeur à l'Ecole des mines de Londres, M. Le Neve Forster, inspecteur royal des mines, Emile Metz, maître de forges à Esch, Roman Oriol, professeur à l'Ecole des mines de Madrid, Dobronitzki, ingénieur des mines de Russie, Eckley B. Coxe, ancien président de la Société des ingénieurs américains, de Castillon, directeur de l'Ecole des mines de Mexico. Ces choix sont approuvés par le Congrès.

M. le Président propose ensuite de désigner comme secrétaires MM. Dujardin-Beaumetz, Gautier, Gruner, Lodin, secrétaires du Comité d'organisation, M. Bresson, un de ses rapporteurs, M. Desmarets, ingénieur au corps des mines de Belgique, M. Witmeur, professeur à l'Université de Bruxelles, M. Durassier, préparateur aux collections de l'Ecole des mines, M. Brard, directeur des mines de Belmez, M. Pinget, secrétaire du Comité des forges de France.

L'Assemblée approuve ces désignations.

M. le Président donne lecture des listes indiquant le groupement des membres du Congrès en vue des visites à faire à l'Exposition et fait connaître les points où se réuniront les divers groupes le lendemain matin.

Il annonce qu'un banquet aura lieu avant la clôture du Congrès, le 10 septembre, à 7 heures du soir, au restaurant Brébant, sur la première plate-forme de la tour Eiffel; il invite les membres du Congrès à s'y faire inscrire.

Il propose de mettre à l'ordre du jour de la séance du mardi la question des lampes de sûreté et à celui de la séance du mercredi la question du progrès récent de l'affinage.

L'Assemblée, après avoir approuvé cette fixation, vote des remerciements aux membres du Comité d'organisation du Congrès et spécialement à M. Castel, son président.

La séance est levée à 4 heures.

Séance du 3 septembre 1889.

Présidence de M. Arnould, directeur général des mines de Belgique.

La séance est ouverte à 2 h. 20.

M. Castel, président du Congrès, après avoir annoncé que le procès-verbal de la précédente séance, qui n'a pu encore être rédigé, sera lu à la prochaine séance, donne lecture de différentes lettres de MM. Edison, Noblet, Cromona, qui s'excusent de ne pouvoir assister aux séances du Congrès.

Il invite ensuite M. Arnould, directeur général des mines de Belgique, à présider la séance.

M. Arnould. — Messieurs, je vous suis très reconnaissant de l'honneur que vous voulez bien me faire en m'appelant au fauteuil de la présidence. Je m'efforcerai de remplir de mon mieux le rôle délicat que vous venez de me confier ; j'espère que, grâce à votre zèle et à vos efforts, cette séance portera *ses fruits*.

La première question que doit traiter le Congrès est celle des *lampes de sûreté;* je ne puis faire autrement, en ouvrant cette discussion, que de décerner les éloges qu'il mérite au remarquable rapport de M. Le Châtelier, auquel je vous propose d'adresser par acclamations toutes vos félicitations. *(Approbation générale, applaudissements.)*

La parole est à M. Le Châtelier.

M. Le Châtelier. — Messieurs, les observations que j'ai à vous présenter seront très courtes. Vous avez tous mon rapport entre les mains, je veux simplement vous en rappeler les points principaux.

Après la découverte de la *lampe de sûreté* par *Davy*, on put croire que les explosions du grisou provoquées par les lampes allaient disparaître, mais il fallut bientôt renoncer à cette espérance.

De divers côtés, en Angleterre principalement, de nouveaux accidents furent signalés. On se préoccupa peu d'abord de ces accidents isolés, on ne croyait pas qu'ils eussent pu, dans tous les cas, être provoqués par la lampe Davy.

Ce n'est qu'en 1853 que Nicholas Wood démontra, par des expériences précises, qu'à une vitesse comprise entre trois et quatre mètres par seconde, la lampe Davy laissait passer la flamme dans les mélanges grisouteux et que l'inflammation avait lieu.

Il semblait que de pareils résultats dussent amener la proscription de la lampe Davy. Il n'en fut rien et l'on continua à se servir de cette lampe comme par le passé.

Cependant, les expériences de Nicholas Wood furent répétées en France, en Belgique, en Angleterre; elles donnèrent partout des résultats concordants. On se heurta néanmoins à une très grande résistance pour faire abandonner la lampe Davy, que les ouvriers réclamaient à cause de certains avantages, de la non extinction notamment.

Cette résistance fut si forte qu'en 1881, quand la Commission française du grisou se réunit et prononça l'interdiction absolue de la lampe Davy dans les mines, en présence des réclamations qui se produisirent de toutes parts, elle crut devoir revenir sur sa décision et suspendre cette interdiction.

Ces expériences ne furent pas cependant complètement perdues, elles agirent peu à peu sur l'opinion et finirent par donner le résultat qu'on pouvait en espérer.

La lampe Davy n'a plus de défenseurs aujourd'hui

et, même passant d'un extrême à l'autre, on en arrive à contester la sécurité d'autres lampes plus perfectionnées, particulièrement de la lampe Muesoler, et à en abandonner l'emploi.

Quand on jette les yeux, en effet, sur les tableaux d'expériences, publiés par les diverses Commissions d'expériences, on constate un très grand nombre d'inflammations qui se sont produites avec la lampe Mueseler, mais quand on veut interpréter des expériences de ce genre, il convient de ne pas se contenter de la statistique, il faut se mettre à la place des expérimentateurs et être expérimentateur soi-même.

Ainsi, quand on veut faire une comparaison entre la lampe Davy et la lampe Mueseler, on procède généralement de la façon suivante : On place la lampe Davy dans un courant animé de 4 mètres par seconde; une première fois il prend feu, on recommence une deuxième, une troisième, une quatrième fois, à tout coup l'inflammation est obtenue et l'on abandonne ces expériences dont la répétition ne saurait présenter aucun intérêt. Si l'on prend au contraire la lampe Mueseler, on ne fait plus passer l'inflammation au dehors dans ces mêmes conditions.

On varie alors à l'infini les conditions d'épreuve; on irait au besoin jusqu'à placer la lampe la tête en bas, et l'on continue jusqu'à ce que l'on arrive à faire passer l'inflammation au dehors. Ce résultat une première fois obtenu, on répète un grand nombre de fois l'expérience pour être bien sûr du résultat et un peu aussi à cause de la satisfaction que la difficulté vaincue cause à l'amour-propre de l'expérimentateur. Et pendant ce temps le tableau des épreuves de la lampe Mueseler se remplit de résultats défavorables. Leur nombre total donne-t-il une mesure du défaut de sécurité de la lampe ?

Evidemment non.

Pour apprécier le degré de sécurité d'une lampe, il faut rapprocher la facilité avec laquelle elle produit l'inflammation dans des conditions déterminées, de la probabilité que présente la réalisation de ces conditions dans la pratique des mines. Comparons, en nous plaçant à ce point de vue, les types principaux des lampes de sûreté.

Avec la lampe Davy l'inflammation a lieu à coup sûr dans un courant de 3 à 4 mètres. C'est une condition qui n'est pas exceptionnelle dans les mines, c'est le courant d'air naturel. La vitesse normale du courant d'air, augmentée de celle du balancement de la lampe portée à la main, atteint facilement cette grandeur. L'ouvrier, qui voit sa lampe remplie de feu et la tire brusquement, lui communique facilement une vitesse plus grande encore. Ces conditions et d'autres analogues se rencontrent très fréquemment, aussi ne peut-on être surpris que la lampe Davy ait occasionné si fréquemment des accidents.

Si nous passons à la *lampe Clanny*, nous voyons que l'inflammation a lieu à des vitesses un peu supérieures, mais qui ne dépassent guère $4^m,50$. On se trouve donc à peu près dans les mêmes conditions que pour la lampe Davy. Cependant, au point de vue de la sécurité, il y a entre ces deux lampes une très grande différence. C'est qu'en effet quand on plonge une lampe Clanny dans un mélange explosif elle s'éteint souvent, ce que ne fait jamais la lampe Davy.

De plus, une fois introduite dans le gaz, elle ne peut plus, même si elle y est entrée allumée, être ramenée à l'air sans s'éteindre. L'ouvrier, certain que sa lampe sera finalement éteinte chaque fois qu'elle pénétrera dans un mélange explosif, a donc grand intérêt, pour éviter cette extinction, à maintenir sa lampe éloignée du puits où il peut soupçonner la présence du grisou. On

conçoit donc que cette lampe, qui dans les expériences ne se comporte guère mieux que la lampe Davy, présente néanmoins un degré de sécurité pratique bien plus grand.

La *lampe Mueseler*, pour laisser passer la flamme au dehors, doit être présentée au courant de telle façon que la circulation du gaz soit renversée et que l'air frais entre par la cheminée. C'est un résultat qui est difficile à obtenir et même impossible si le courant d'air est horizontal. Pour l'obtenir, il faut, en inclinant la lampe, l'introduire brusquement dans un mélange animé d'une vitesse considérable : 4 à 5 mètres par seconde pour le gaz d'éclairage, 10 mètres par seconde pour le grisou. On est arrivé encore à obtenir l'explosion à une vitesse moindre : 3 mètres par seconde, en disposant devant et derrière la lampe des écrans de forme assez compliquée pour donner au courant gazeux dans l'intérieur de la lampe certaines directions particulières. Ce sont là évidemment des conditions qui ne se rencontreront presque jamais dans la pratique. Aussi la lampe Mueseler, malgré les inflammations nombreuses qu'elle donne dans certaines conditions particulières d'expériences, présente un grand degré de sécurité pratique.

Nous arrivons maintenant *aux lampes Fumat* et *Marsaut*. Ces dernières lampes ont résisté dans le gaz à des vitesses de 10 mètres, ce qui correspond à des vitesses plus considérables encore dans le grisou. Cela équivaut à une sécurité absolue.

En somme, nous possédons actuellement des lampes dont la sécurité expérimentale est infiniment grande par rapport à la lampe Davy. Peut-on en conclure que tout danger d'explosion du fait des lampes soit écarté ? Malheureusement non. Quand on étudie la statistique des accidents des mines, on trouve qu'un grand nombre

d'entre eux encore est dû aux lampes. Pourquoi cette contradiction apparente ? C'est que les expériences du laboratoire n'abordent qu'un petit côté du problème de l'éclairage et qu'elles sont faites avec des *lampes en bon état, neuves généralement et bien différentes des lampes employées dans la pratique des mines.*

A ce point de vue de l'étude des différents dangers résultant de l'emploi des lampes, la statistique des accidents offre un très grand intérêt.

En France, depuis ces quarante dernières années, il y a eu dans les mines de houille 800 accidents ayant amené une incapacité de travail d'au moins 10 jours. Ces accidents se décomposent ainsi : 70 p. °/₀, c'est-à-dire 560 accidents, sont dus aux lampes et 30 p. °/₀ à des causes diverses : tirage des mines, foyers d'aérage, etc., etc.

Ces 560 accidents se décomposent eux-mêmes de la manière suivante : 50 p. °/₀ sont dus à des lampes à feu nu, 18 p. °/₀ aux lampes Davy et 2 p. °/₀ à des types plus perfectionnés.

Le chiffre des accidents dus à des lampes à feu nu est bien éloquent par lui-même ; il indique l'intérêt qu'il y aurait à remplacer les lampes à feu nu par des lampes de sûreté et à supprimer la distinction entre les mines à grisou et les mines qui ne sont pas à grisou. Le procédé empirique suivi jusqu'à présent pour établir cette distinction a consisté à attendre qu'un certain nombre suffisant d'ouvriers aient été brûlés dans une mine donnée. On la classe alors dans la catégorie des mines à grisou. Toutes les mines finissent par passer à la longue dans cette catégorie. Mieux vaudrait alors les considérer tout de suite comme des mines à grisou, y introduire la pratique des lampes de sûreté et économiser ainsi un certain nombre de vies d'hommes.

Pour les lampes de sûreté, la statistique française

indique deux catégories bien distinctes d'accidents : celle des accidents causés par les lampes Davy, qu'elles soient ou non en bon état, et celle des accidents causés par des lampes plus perfectionnées. Les accidents causés par des lampes en bon état sont peu nombreux. Si on laisse de côté les lampes Davy, dont le défaut de sécurité est si bien démontré aujourd'hui, on trouve que la proportion n'est pas de 12 p. °/₀ du nombre total des accidents de lampe. Il est vrai que les lampes autres que la lampe Davy ont été pendant longtemps d'un usage peu fréquent, surtout en France.

Mais, par contre, la statistique nous apprend qu'en ce qui concerne les accidents causés par les lampes, les trois quarts pour les lampes Davy et la presque totalité pour les autres types sont dus au *mauvais état des lampes* qui ne se trouvaient pas, au moment de l'emploi, dans des conditions normales. C'est dans ces *altérations des lampes* qu'il faut chercher actuellement la plus grande source des dangers que courent les mineurs du fait de l'éclairage. Aussi n'est-il pas inutile d'énumérer rapidement les diverses causes de ces altérations.

La première consiste dans l'*ouverture de la lampe* faite par l'ouvrier, soit qu'il désire voir plus clair, — ce qui arrivait fréquemment avec la lampe Davy, — soit qu'il veuille rallumer sa lampe éteinte. Dans ce cas, le mode de fermeture de la lampe a une importance capitale. Cette question mérite d'être étudiée encore, car on est loin, jusqu'ici, d'être arrivé sur ce point à une solution satisfaisante.

La deuxième cause d'altération consiste dans la *rupture des verres*, soit sous l'action d'un choc, soit par suite de l'élévation de la température. On peut remédier dans une grande mesure à cet inconvénient de la fragilité des verres par un choix convenable de la

composition chimique du verre et surtout par un recuit très soigné.

La troisième cause d'altération est le *défaut de jonction des différentes parties de la lampe.* Le danger, dans ce cas, est d'autant plus grand que le nombre des joints est plus considérable. Enfin, dans la plupart des modes de fermeture adoptés jusqu'à présent, le serrage du verre est presque impossible, parce qu'ils exigent que la vis de fermeture soit toujours arrêtée au même point. Les irrégularités de hauteur des verres ne peuvent être ainsi compensées.

Une autre cause d'altération, — celle-là beaucoup plus difficile à éviter, — est celle qui *provient des tamis,* qui se détériorent rapidement. Ils sont souvent percés, pendant le transport dans la mine, par un ouvrier qui porte plusieurs lampes à la fois et ses outils en même temps. Les mailles peuvent aussi s'élargir, soit par défaut de fabrication, soit par rupture ou glissement d'un fil, soit même simplement par la réduction du diamètre du fil à la suite d'un usage trop prolongé. Ces derniers défauts s'aperçoivent difficilement et doivent, par conséquent, donner lieu à une surveillance d'autant plus active.

Une dernière cause d'altération, particulière à la lampe Mueseler, réside dans la *défectuosité de l'attache du diaphragme sur la cheminée.*

Il faut mentionner, en terminant cette énumération, les *altérations volontaires* que les fabricants font subir aux lampes dont ils modifient le type, sans se préoccuper de la diminution de sécurité qui en résulte.

On rencontre aujourd'hui dans les mines un grand nombre de modèles différents de lampes Mueseler et même de lampes Marsaut. On a trouvé en effet le moyen, malgré le petit nombre d'années que compte cette der-

nière lampe, d'en modifier déjà le type de la façon la plus fâcheuse.

En résumé, Messieurs, on peut dire que la question des lampes de sûreté entre actuellement dans une phase nouvelle. Ce n'est plus tant de l'accroissement de la sécurité de la lampe en bon état de service qu'il faut se préoccuper que du perfectionnement de tous les détails de construction, de l'agencement de ses divers organes, en un mot de tous les éléments dont dépend son plus ou moins parfait état de conservation entre les mains de l'ouvrier. *(Vifs applaudissements.)*

M. le Président donne ensuite la parole à M. Fumat, ingénieur en chef des mines de la Grand'Combe, qui s'exprime en ces termes :

La sécurité serait relativement grande dans une mine grisouteuse qui satisferait à la formule suivante :

1° Ventilation suffisante et distribution rationnelle des courants d'air, pour que l'on puisse, sans danger, visiter les travaux sur toute leur étendue avec une lampe à feu nu ;

2° Eclairage avec une lampe assez sûre pour que l'on puisse encore, sans danger, parcourir tous les travaux, en supposant un arrêt dans la ventilation, et la mine envahie par le grisou.

La mine qui remplirait ces conditions ne serait pas à l'abri d'une catastrophe parce que quoi qu'on fasse, un jour, et cela est fatal, une porte restera ouverte ou le ventilateur subira un ralentissement, et alors il suffira d'une imprudence pour enflammer le gaz. Mais cette mine aurait au moins pris toutes les précautions qu'il était en son pouvoir de prendre et aurait par cela même supprimé dans une large proportion les causes d'une explosion.

Il est donc de toute évidence qu'une mine doit être dotée de puissants ventilateurs et pourvue d'une bonne lampe.

Occupons-nous de l'éclairage, c'est-à-dire de la lampe de sûreté et considérons comme résolue la question de la ventilation.

Quand, dans son chantier, le mineur se trouve surpris par le grisou qui se montre non seulement dans la taille, mais dans les galeries, comme pour lui couper la retraite, il a besoin à ce moment de tout son sang-froid, et croyez bien que sa lampe ne lui paraîtra jamais assez sûre.

Si tout un quartier est ainsi envahi, parce qu'une porte est restée ouverte trop longtemps, lorsque cette porte sera refermée et, cela peut se produire pendant la retraite des ouvriers, un courant grisouteux plus ou moins violent viendra sur les lampes des ouvriers qui se retirent ; à ce moment encore, ils ne trouveront pas leurs lampes trop résistantes.

D'autres cas plus difficiles peuvent se présenter, sans compter ceux que l'avenir nous réserve et que nous ne pouvons prévoir.

Il semble donc qu'il est temps de bien faire connaître la valeur de chaque lampe parce qu'on ne doit pas leur assigner une limite de résistance, ne connaissant pas suffisamment les conditions défavorables dans lesquelles elles peuvent se trouver au milieu du grisou.

Des essais poussés jusqu'aux dernières limites paraissent indispensables pour bien mettre en évidence leur puissance de résistance respective.

Les épreuves les plus rigoureuses seraient, d'après nous :

1° Le séjour prolongé dans un milieu grisouteux susceptible de développer la combustion la plus vive, jus-

qu'à ce que la lampe ait atteint sa température maxima, alors remplacer le mélange combustible par un mélange explosif en le faisant arriver brusquement ou progressivement.

2° Le séjour prolongé dans un courant grisouteux d'une composition variable, d'une direction et d'une inclinaison quelconque et d'une très grande vitesse.

La lampe que j'ai l'honneur de présenter a résisté à toutes les épreuves auxquelles MM. Mallard et Le Châtelier ont bien voulu la soumettre au laboratoire de l'Ecole des Mines.

Elle a également supporté les épreuves dans des courants explosifs animés d'une vitesse de 90 pieds à la seconde ; que ces courants fussent horizontaux, verticaux, montants ou descendants.

C'est la première lampe qui ait résisté à ces dernières épreuves qui ont été faites à Sheffield (Angleterre) par M. Clifford, ingénieur des mines, sous les auspices M. Arnold Lupton, ingénieur professeur à Leeds.

Outre sa grande résistance, cette lampe supporte tous les mouvements, n'a plus de verres fendillés sous l'action de la chaleur, conserve ses tamis intacts, en brûlant indéfiniment dans l'atmosphère la plus poussiéreuse, réalise enfin par sa combustion complète les conditions recherchées pour les meilleurs explosifs, d'une combinaison immédiate et entière avec l'oxygène ne produisant que des gaz incombustibles.

Pour la plus grande tranquillité de ceux qui se sont occupés de lampes de sûreté et aussi pour la sécurité de tous les mineurs, nous demandons qu'il soit fait des essais tels que les lampes qui en sortiront et qui seront envoyées dans la mine emportent avec elles une estampille qui les mettent hors de tout soupçon.

Personne ne voudra prendre la responsabilité d'une lampe de sûreté s'il n'est déjà couvert par la sanction que vous donnerez à celles que vous aurez éprouvées à outrance et qui auront supporté les épreuves. Vous rendrez un grand service aux exploitants, ainsi qu'aux personnes qui ont apporté des modifications aux lampes de sûreté.

Cela dit, je passerai à la description détaillée de la lampe que j'ai l'honneur de vous présenter.

DESCRIPTION DE LA LAMPE FUMAT

A la base le réservoir d'huile, supportant l'admission d'air, composée d'un socle circulaire recouvert extérieurement de deux toiles métalliques juxtaposées.

Au-dessus le verre, et ensuite la cheminée fermée par une toile métallique à mailles fines et contenant à son intérieur un tamis cylindrique d'un diamètre de 3 centimètres, terminé dans le haut par une calotte pleine en métal, destinée à rabattre la flamme et les explosions internes, et, dans le bas, par un tube dont le bord inférieur atteint le sommet de la flamme, obligeant ainsi tous les mélanges à venir se brûler sur la flamme au fur et à mesure de leur introduction.

Le cadre muni de ses protections indépendantes pour l'entrée de l'air comme pour la sortie des fumées étant vissé sur la lampe donne le modèle décrit par M. Le Châtelier dans son rapport au Congrès, ou plutôt le n° 2 perfectionné.

Et les *quelques modifications importantes*, dont fait également mention M. Le Châtelier dans ce même rapport, transforment pour ainsi dire la lampe.

Ces modifications, apportées au cadre seulement, sont les suivantes :

1° A la partie inférieure, une galerie circulaire de distribution d'air qui enveloppe le tamis ;

2° A la partie médiane, une gaîne-réflecteur amenant l'air dans la galerie circulaire ;

3° A la partie supérieure, une chemise en tôle percée sur la face opposée à la gaîne-réflecteur de trous de 5 millimètres de diamètre, lesquels portent des tubes d'une longueur de 5 millimètres. Ces trous servent, ceux du bas, à l'entrée de l'air qui descend par la gaîne, entre dans la galerie circulaire, passe à travers le tamis et vient sur la flamme ; ceux du haut, à l'évacuation des fumées qui, débouchant de la cheminée, se répandent dans le sommet de la chemise et descendent jusqu'aux premières rangées de trous. Le cadre vissé sur la lampe et serré sur le tamis constitue par la réunion de la galerie d'air, de la gaîne et de la chemise, une colonne d'air qui est appelée à faire équilibre à la colonne de fumée et à modérer au besoin la combustion.

En effet, dans les oscillations, la force centrifuge se développe dans les deux colonnes et la plus lourde l'emporte toujours sur l'autre, par conséquent le sens du tirage n'est pas changé.

Dans les coups de vent, la colonne froide qui reçoit la commotion la transmet simultanément aux extrémités de la colonne chaude, qui n'en est pas troublée.

Dans le séjour prolongé au milieu du grisou, la lampe s'échauffe, la colonne froide perd de son poids et, de plus, l'air chaud dilaté, passant à travers les mêmes ouvertures du tamis, apporte moins d'oxygène sur la flamme qui au-delà d'une certaine limite n'augmente plus.

M. le Président. — Est-ce que la lampe s'éteint quand elle est penchée ?

M. Fumat. — Elle ne s'éteint pas. Il est arrivé quelquefois que des lampes ont été renversées, elles ont continué à brûler. En somme, elles ne s'éteignent jamais dans un milieu simplement combustible ; elles s'éteignent toujours au contraire quand elles sont mises dans un milieu explosif, et, dans ce cas, elles produisent une détonation très faible.

LA FERMETURE DES LAMPES DE SURETÉ

M. Janet, ingénieur au Corps des Mines. — Messieurs, je me propose de traiter sommairement la question de la fermeture des lampes et de décrire à grands traits les principaux systèmes de fermeture employés dans le bassin houiller du nord de la France.

La fermeture des lampes de sûreté est un des organes qui a subi les plus importants perfectionnements depuis quelques années.

Aujourd'hui, dans le bassin de Valenciennes, les lampes de toutes les mines grisouteuses sont ou vont être dans quelques mois munies de fermetures satisfaisantes ; les fermetures à vis, d'un emploi presque général autrefois, n'existent plus que dans quelques exploitations très peu grisouteuses où l'emploi de la lampe de sûreté est une simple mesure de précaution.

L'importance de la question de la fermeture est suffisamment démontrée par l'augmentation énorme du nombre de rallumages au jour qu'on observe, lorsqu'on remplace une fermeture à vis par une fermeture satisfaisante. Il en résulte évidemment que, avec les fermetures à vis, les ouvriers ont l'habitude de rallumer leurs lampes eux-mêmes, soit avec une allumette, soit à l'aide de la lampe d'un de leurs camarades.

Les diverses fermetures employées dans le bassin de

Valenciennes peuvent être classées en quatre groupes principaux :

1° Fermetures à vis ;

2° Enclenchement du verrou de la lampe avec la mèche ;

3° Scellés apposés aux lampes et permettant de constater toute ouverture ;

4° Systèmes résistant à toutes les tentatives d'ouverture des ouvriers.

Fermeture à vis. — Il existe plusieurs dispositifs de fermetures à vis dans le détail desquels il me semble absolument inutile d'entrer. Tous sont absolument inefficaces, et les ouvriers ouvrent les lampes sans aucune difficulté.

Enclenchement du verrou de la lampe avec la mèche. — Ce principe consiste à rendre solidaire les mouvements du verrou de fermeture et de la mèche, de manière que pour ouvrir la lampe il soit nécessaire de noyer la mèche dans l'huile. Divers systèmes reposent sur ce principe ; le seul en usage dans le bassin de Valenciennes est le système Dubrulle.

La mèche est mise en mouvement par une vis qui actionne en même temps un verrou. La couverture de la lampe est munie d'une crémaillère sur son pourtour, en sorte qu'elle peut être vissée sans difficulté lorsque le verrou est soulevé.

Mais les ouvriers savent paralyser le mécanisme de cette lampe et l'ouvrir sans l'éteindre. De plus, même si ce mécanisme remplissait parfaitement son but, le principe n'en devrait pas moins être condamné, car rien n'empêche d'ouvrir la lampe éteinte et de la rallumer avec une allumette.

La fermeture Dubrulle, qui d'ailleurs tend à dispa-

raître, ne me semble donc pas pouvoir être admise dans les exploitations grisouteuses.

Scellés appliqués aux lampes et permettant de constater toute ouverture. — Le principe de ce système est connu presque depuis l'invention des lampes de sûreté. En effet, par une circulaire en date du 14 août 1832, le directeur général des ponts et chaussées et des mines attirait l'attention des exploitants sur un dispositif imaginé par un sieur Régnier, mécanicien à Paris, et consistant à fermer la lampe avec une étroite bande de plomb laminé dont on rapproche les deux bouts en les pliant et qu'on marque d'une double empreinte en comprimant fortement ses deux bouts à l'aide d'une presse portative. Cette circulaire ne paraît pas d'ailleurs avoir eu beaucoup d'effet, car on n'en continua pas moins à conserver les fermetures à vis.

En 1871, M. Dinant, employé aux mines d'Anzin, imagina de souder la lampe chaque jour au moyen d'un métal fusible.

En 1886, M. François, ingénieur en chef aux mines d'Anzin, appliqua aux lampes de cette Compagnie la fermeture du rivet de plomb, qu'il avait eu occasion d'étudier en Westphalie.

La fermeture Dinant comprend un piton qui s'engage dans une encoche pratiquée sous le couvercle taraudé de la lampe. On le maintient dans cette position au moyen d'une soudure effectuée sur le fond du réservoir. Cette soudure est obtenue au moyen d'un globule d'étain dont on détermine la fusion par un fer chauffé au rouge. L'opération s'effectue sur le réservoir des lampes séparé du tamis ; on n'allume la lampe et on ne la ferme qu'au moment de la remettre aux ouvriers. Un lampiste exercé peu souder environ 100 lampes à l'heure.

Pour ouvrir la lampe, il suffit d'appliquer sur la partie soudée un fer chauffé au rouge, l'étain entre en fusion et le verrou sort de l'encoche.

Le système du rivet de plomb employé à Anzin est très simple. Deux petites lames de fer, percées d'un œillet, sont soudées, l'une sur le réservoir, l'autre sur la bague supportant le tissu, de telle manière que ces œillets arrivent juste en face l'un de l'autre lorsque la lampe est fermée. On introduit alors dans le trou formé par ces œillets une cheville en plomb que l'on rive au moyen d'une pince spéciale, qui imprime en même temps à chaque extrémité du rivet une marque bien apparente. Pour dériver on emploie une autre pince dont l'une des branches maintient l'œillet pendant que l'autre branche, qui est munie d'un poincon, chasse le rivet.

Ce système a été légèrement modifié dans le Pas-de-Calais en vue de permettre de river les lampes avant de les allumer

Les systèmes de la soudure à l'étain et de la rivure au plomb me paraissent offrir les garanties désirables de sécurité. L'ouverture par les moyens mécaniques n'offre évidemment aucune difficulté, mais elle laisse des traces d'effraction. Cependant il arrive quelquefois que la lampe Dinant se dessoude, soit lorsqu'elle subit un choc violent, soit lorsque la soudure n'a pas été bien faite et que le rivet de plomb tombe de lui-même, par suite de la trop faible largeur de la tête formée par écrasement ou par suite de l'agrandissement des œillets. On ne peut donc affirmer absolument qu'il y a eu fraude lorsqu'on trouve une lampe ouverte entre les mains d'un ouvrier. Le mieux est de tenir soigneusement note sur un registre des noms des ouvriers qui rapportent leur lampe ouverte, afin de voir si le fait se produit plusieurs fois pour les mêmes ouvriers.

Ce défaut est moins prononcé pour la rivure du plomb

que pour la soudure à l'étain. Cette considération, jointe à la plus grande simplicité du rivet de plomb, a déterminé la Compagnie d'Anzin à remplacer progressivement par la rivure la soudure à l'étain, qu'elle avait cependant employée pendant 18 ans dans ses fosses les plus grisouteuses.

Système résistant à toutes les tentatives d'ouvertures des ouvriers. — Le seul système employé dans le bassin de Valenciennes qui remplisse convenablement ces conditions est la fermeture hydraulique Cuvelier. Je laisse de côté la fermeture électro-magnétique Viliers, qui donne, paraît-il, d'excellents résultats dans le bassin de Saint-Etienne, mais n'est pas appliquée actuellement dans la région du Nord.

La description de la fermeture hydraulique Cuvelier a été donnée dans les *Comptes-rendus mensuels de la Société de l'Industrie minérale* (juin 1885). Elle se compose essentiellement d'un tube manométrique Bourdon soudé à la lampe en son milieu et communiquant avec l'extérieur par un conduit capillaire et courbe. Les deux branches du tube Bourdon maintiennent un verrou qui ne peut s'effacer que lorsqu'on écarte leurs extrémités, ce qu'on obtient en introduisant au moyen d'un accumulateur de l'eau sous pression dans le tube manométrique. Dans les dernières lampes construites, le verrou ne se déplace que sous une pression de 50 kilog. Il est alors absolument impossible de les ouvrir sans disposer d'un accumnlateur, et la meilleure preuve, c'est qu'on a proposé des primes importantes aux ouvriers qui réussiraient à rapporter leur lampe ouverte et qu'aucun n'a pu y réussir (*Rires*).

Le système ne présente au point de vue de la sécurité aucun inconvénient pratique sérieux. Aussi s'est-il rapidement répandu depuis quelques années ; les Com-

pagnies de Bully-Granay, Nœux-Vicoigne, Douchy et Crespin l'emploient ; celles de Lens, Liévin et Bruay paraissent décidées à l'adopter.

Conclusions. — En résumé, une bonne fermeture doit, à mon avis, répondre à l'une des deux conditions suivantes : ou résister à toutes les tentatives d'ouverture des ouvriers ou, s'il est possible de l'ouvrir, laisser des traces certaines de la contravention commise. Dès lors la fermeture hydraulique Cuvelier, la soudure à l'étain et la rivure au plomb doivent être regardées comme offrant les garanties désirables ; les fermetures à vis et la fermeture Dubrulle doivent à mon avis être proscrites des exploitations grisouteuses.

Je voudrais en terminant dire quelques mots sur une autre question qui a certains rapports avec celle de la fermeture, mais qui, tandis que cette dernière paraît résolue, est encore dans l'enfance, c'est celle du rallumage intérieur des lampes de sûreté.

Cette question n'a d'ailleurs pu encore passer, du moins en France, dans la pratique courante.

Dès 1879, M. Haton de la Goupillière avait signalé à la Commission française du grisou l'intérêt très grand qu'il y aurait à trouver un moyen de rallumer les lampes de sûreté sans les ouvrir.

Il est clair qu'avec les progrès réalisés pour les fermetures, cette question perd de son importance au point de vue de la sécurité, puisque, avec certains des systèmes précédemment décrits, il est impossible aux ouvriers d'ouvrir les lampes, ou du moins de les ouvrir sans qu'on s'en aperçoive. Cependant un bon appareil de rallumage intérieur rendrait de grands services, en évitant l'obligation aux ouvriers de renvoyer au jour leurs lampes éteintes.

Un appareil pratique permettant de combler ce *dési-*

deratum a été imaginé par M. Wolf et s'est rapidement répandu en Allemagne. Malheureusement il exige l'emploi de l'huile minérale volatile.

L'organe de rallumage se compose d'une bande de papier portant une série de pois fulminants également espacés et analogue aux amorces des pistolets d'enfants. Le jeu d'un ressort manœuvré de l'intérieur permet de déterminer une explosion suffisante pour enflammer les vapeurs émises par l'huile minérale.

L'appareil fonctionne généralement bien. Cependant quond on fait plusieurs expériences à des intervalles rapprochés, on observe quelques ratés résultant de ce que l'intérieur de la lampe se remplit de gaz huiles incombustibles. Le seul inconvénient du rallumage est de salir le verre, et par suite de diminuer le pouvoir éclairant de la lampe.

Les Allemands ne reculent pas devant l'emploi de la benzine ; aussi cet appareil fonctionne-t-il pratiquement dans un certain nombre de houillères ; il n'a pas encore été appliqué en France.

Un autre système s'appliquant aux lampes alimentées par l'huile végétale a été imaginé en 1886 par M. Catrice, ingénieur civil à Péruwelz.

J'ai donné dans les Annales des mines (année 1887, tome XI) une description sommaire de cet appareil, qui se compose essentiellement d'un petit barillet semblable à celui d'un revolver, portant 8 canons destinés à recevoir de petites allumettes. Chaque allumette peut venir se placer en face d'un tube portant un ressort rugueux, et qui va aboutir à l'intérieur de la lampe. Il suffit de pousser vivement l'allumette avec une broche, pour lui faire traverser le tube où elle s'enflamme par frottement contre le ressort, et la faire arriver dans l'intérieur de la lampe où elle allume la mèche placée près d'elle.

Les essais pratiques effectués au mines d'Anzin et de

l'Escarpelle ont mis en évidence un certain nombre d'inconvénients. Ces Compagnies signalent notamment :

1° Le défaut d'étanchéité des lampes ; mais il semble qu'il serait facile d'y remédier par une construction plus soignée.

2° La qualité défectueuse des allumettes qui produisent trop de gaz en s'allumant et s'altèrent dans l'atmosphère de la mine. On arriverait sans doute à de bons résultats si l'on pouvait avoir des allumettes munies d'une pâte dégageant peu de gaz, et recouvertes d'un vernis qui les protégerait contre l'humidité.

3° La communication établie entre l'intérieur de la lampe et l'extérieur. C'est évidemmment une objection grave qui vise la question de sécurité, mais il ne faudrait cependant pas lui attribuer une trop grande importance, car les tubes-mouchettes établissent dans presque toutes les lampes une communication semblable.

En résumé, l'appareil Catrice, s'il ne répond pas actuellement d'une manière complète au but proposé, doit être considéré au moins comme un premier pas très intéressant dans la question du rallumage intérieur des lampes de sûreté alimentées par l'huile végétale. *(Applaudissements.)*

M. le Président donne ensuite la parole à *M. Roberti-Luitermans*, ingénieur des mines du gouvernement belge, qui donne lecture de la note suivante sur *la lampe Mueseler* :

A la suite d'une inflammation de grisou survenue, en 1888, dans un charbonnage du Hainaut, on constata que plusieurs lampes de sûreté du type Mueseler, provenant d'un chantier où il avait pu s'accumuler du grisou, présentaient des trous de mouchette d'assez grand diamètre et que les toiles métalliques de l'une d'elles

avaient subi l'action du feu. En vue de reconnaître leur degré de sécurité dans les mélanges explosifs, M. le directeur général des mines G. Arnould nous chargea de les expérimenter dans la cloche Marsaut et de nous assurer surtout si l'espace libre existant entre le tube de la mouchette et le fil qui le traverse ne permettait pas le passage de la flamme. N'ayant pas du grisou naturel à notre disposition et ne pouvant pas fabriquer du formène, nous eûmes recours au gaz d'éclairage pour produire les mélanges explosifs. Les expériences si intéressantes de M. Marsaut, dont il est question dans son étude sur la lampe de sûreté des mineurs, ont eu lieu dans les mêmes conditions. Cet ingénieur, il est vrai, se demande s'il ne conviendrait pas plutôt d'éprouver les lampes dans le grisou, et s'il suffit qu'une lampe résiste dans un gaz d'éclairage quelconque pour donner toute sécurité dans les mélanges grisouteux. Les recherches du docteur Schondorff, rapportées dans les documents de la Commission prussienne du grisou, permettent, jusqu'à un certain point, de répondre d'une façon affirmative. Ces recherches, faisant suite aux travaux de M. Marsaut, ont eu surtout pour but de déterminer l'influence de la toile métallique et des dimensions de la lampe de sûreté sur la faculté de passage de la flamme au travers des treillis. La lampe à éprouver était placée dans une cloche dans laquelle on introduisait le mélange explosif. L'allumage était produit au moyen de l'électricité. A cet effet, le porte-mèche était remplacé par deux fils de cuivre entre les extrémités desquels on faisait éclater une étincelle.

Les essais ont eu lieu avec des mélanges d'air et de gaz d'éclairage et des mélanges d'air et de gaz des marais. Suivant le docteur Brookman, spécialement attaché au service d'analyse des gaz au laboratoire de Bochum, le maximum d'explosion, constaté dans une

éprouvette de laboratoire, correspondait, pour les premiers mélanges, à la proportion de 14 à 15 p. °/₀, et, pour les seconds, à celle de 9 ½ p. °/₀.

En général, le docteur Schondorff s'est servi, dans ses expériences, de la forme de lampe la plus simple, c'est-à-dire de la lampe Boty. Il a pris des cylindres en verre de 5, 7, 9 et 11 centimètres de hauteur et de 4, 5, 6 et 7 centimètres de diamètre, sur lesquels il a placé des tamis coniques de 5, 10 et 15 centimètres de hauteur, formés de diverses toiles. Dans ces conditions, il n'a pu obtenir aucun passage de flamme avec le gaz des marais, et, pour produire dans certains cas, avec ce gaz, des inflammations extérieures, il a dû réduire à zéro la hauteur du tamis, c'est-à-dire placer un simple disque sur le cylindre en verre. Les explosions produites avec le gaz d'éclairage étaient donc de beaucoup plus violentes que celles dues au gaz des marais. Ce dernier constitue en très grande partie le grisou naturel qui renferme d'autres gaz : acide carbonique, azote, oxygène, hydrocarbures et parfois de l'hydrogène. Sauf pour le grisou, qui pourrait renfermer certaines proportions d'hydrogène, il résulte donc de ces expériences que les mélanges de gaz d'éclairage et d'air, s'ils sont les plus inflammables, sont aussi les plus violents. Ce point est d'ailleurs confirmé par les expériences de Saint-Etienne sur la lampe Mueseler, mentionnée par M. Le Châtelier dans son rapport au Congrès international des mines et de la métallurgie.

La cloche dont nous nous sommes servi pour éprouver les lampes présentait une capacité d'environ 25 litres. Après y avoir introduit 20 litres de gaz, par un tuyau placé à la partie supérieure, on y expérimentait la lampe dans les conditions fixées par M. Marsaut. Le trou de mouchette était laissé ouvert ou formé. Ces expériences ont été accompagnées de quelques épreu-

ves au chalumeau à gaz que l'on plaçait en dessous du tube de la mouchette. Ainsi que le faisait prévoir la faible section libre de ce tube, aucune flamme ne sortit de la lampe par ce point ; le gaz se mit seulement à brûler dans celle-ci au-dessus du trou de mouchette. Les lampes, ainsi expérimentées, portent les numéros 190, 149, 12_a, 12_b, 390, 224 et 252. Elles ont toutes donné lieu, dans la cloche, à des passages de la flamme au travers de la toile horizontale. Les numéros 12_a, 224, 252 et 390 ont en outre mis le feu au gaz de la cloche.

On pourra remarquer, au tableau n° 1, que les toiles métalliques de ces lampes s'écartent des spécifications réglementaires : le diamètre des fils devrait avoir au moins un tiers de millimètre, la réduction de ce diamètre jusqu'à $^1/_4$ de millimètre n'étant tolérée que lorsque le nombre de mailles atteint ou dépasse 225 au centimètre carré. Telles ne sont pas les dimensions des toiles métalliques des lampes numéros 165 et 231 qui furent éprouvées en même temps et qui donnèrent cependant lieu à des passages de la flamme.

En présence de ces résultats venant confirmer les expériences de M. Marsaut, il fut décidé d'étendre les essais à un plus grand nombre de lampes, et, grâce à l'obligeance de certains directeurs de charbonnages du Hainaut et de la province de Liège, nous eûmes à notre disposition les appareils dont les numéros sont indiqués aux divers tableaux joints à cette note.

Dans son étude sur la lampe de sûreté des mineurs (*Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, année 1883), M. Marsaut fait remarquer que les explosions extérieures (il aurait pu ajouter : et les simples passages de la flamme à travers les diaphragmes) se produisaient d'une façon capricieuse, et qu'il fallait quelquefois une grande persévérance pour en déterminer. Il

ajoute qu'on ne réussit pas même toujours à en obtenir (voir tableaux C et D de cette étude). Cela peut tenir, dit-il, à la composition du gaz, à des circonstances spéciales, lorsqu'on opère à l'extérieur, ou encore à l'humidité du gaz ou de l'atmosphère. Si nous avons également constaté que la même lampe ne se comportait pas toujours de la même façon, nous pouvons dire qu'elle continuait à présenter certains phénomènes qui la distinguaient parfaitement des autres lampes. Nous ajouterons même que, pour certaines d'entre elles, nous sommes parvenus, ainsi qu'on pourra le voir dans la suite, à les mettre plus ou moins en défaut, selon le porte-mèche dont elles étaient munies.

Les lampes Mueseler qui ont servi aux recherches de M. Marsaut étaient, paraît-il, changées chaque soir, prises au hasard dans la lampisterie de Bessèges et vérifiées préalablement par le lampiste. Il est regrettable que cet ingénieur ne nous fasse pas connaître les dimensions exactes des lampes éprouvées et qu'il ne donne aucun renseignement sur l'état des toiles métalliques. Ainsi qu'on pourra s'en convaincre à la lecture de cette note, il importe cependant d'être bien fixé sur ces points pour se prononcer sur les causes qui ont pu faciliter le passage de la flamme à travers les treillis métalliques.

Il semble établi à M. Marsaut :

1° Que les lampes doivent être de faible volume et que le rapport entre leur capacité et la surface d'évacuation du gaz doit être aussi grand que possible ;

2° Que l'isolement des gaz de la combustion dans les lampes est une cause d'infériorité ;

3° Qu'il existe un espace neutralisé au fond du verre dans les lampes alimentées par le haut ;

4° Qu'en employant des porte-mèche élevés, on aug-

mente le culot neutre au fond de la lampe, et qu'on donne plus de garantie de sécurité à celle-ci ;

5° Qu'en allongeant la cheminée de la lampe Mueseler, en dessous du diaphragme, on facilite le passage de la flamme au-dessus de celui-ci ;

6° Que l'inflammation se propage d'autant plus facilement à l'extérieur qu'on emploie un plus petit feu à la mèche ;

7° Que, dans la construction des toiles métalliques, il faut moins s'attacher à diminuer le vide du treillis qu'à le subdiviser.

De son côté, à la suite de nombreuses expériences avec allumage électrique, le docteur Schondorff conclut :

1° Pour la lampe forme Boty :

a) La facilité de passage de la flamme au travers de la toile (*Purchschlag*) est d'autant plus grande que le cylindre de verre est plus élevé ;

b) Avec le gaz d'éclairage, un changement dans le diamètre du cylindre en verre n'a pas d'influence sur la facilité de passage de la flamme ; avec le gaz des marais, plus on emploie des verres de grand diamètre, moins on obtient le passage de la flamme ;

c) La sûreté de la lampe augmente avec la hauteur du tamis, c'est-à-dire avec la surface d'évacuation de gaz ;

d) Elle augmente également, pour un nombre égal de mailles, avec l'augmentation de grosseur du fil, et, pour une même grosseur de fil, avec l'augmentation du nombre de mailles.

Cet expérimentateur a trouvé que la formule $Q = \frac{DM}{10 - D\sqrt{M}}$, dans laquelle Q représente le coefficient de sécurité relative de la toile, D le diamètre du

fil, M le nombre de mailles au centimètre carré, et, par suite, $10 - D \sqrt{M}$, la racine carrée de la surface libre de la toile, exprimée en millimètres carrés, dans un centimètre carré, est celle qui concordait le mieux avec les faits ;

2° Pour les lampes avec cheminée :

a) La cheminée augmente beaucoup la faculté de passage de la flamme ;

b) Si le diaphragme se compose d'une toile métallique, il est d'autant plus sensible que celle-ci est plus serrée ;

c) L'allongement de la cheminée en dessous du diaphragme ne semble pas avoir d'influence sur la faculté de passage de la flamme.

On remarquera que le docteur Schondorff et M. Marsaut ne sont pas d'accord sur tous les points. Afin de pouvoir contrôler leurs expériences et de nous rendre compte des causes qui ont pu avoir quelque influence sur les résultats obtenus avec les lampes dont nous disposions, nous avons déterminé pour chacune :

1° Le rapport du vide à la surface totale du tissu de la toile horizontale et l'ouverture des mailles (voir tableau 3) ;

2° La surface découverte et le passage libre de la toile horizontale (voir tableau 4, p. 1225) ;

3° La capacité du verre et le rapport de cette capacité au passage libre (voir tableau 4).

Les conditions dans lesquelles doivent se trouver, en Belgique, les toiles de la lampe Mueseler type et de la lampe Mueseler tolérée, et celles exigées en Allemagne, dans le district de Bonn, pour les toiles des lampes de sûreté en général, sont également indiquées au tableau 3.

Nous avons ensuite apporté quelques modifications à plusieurs lampes, en employant des porte-mèche de diverses hauteurs et en réduisant la capacité du verre par des anneaux en liège plus ou moins élevés (voir tableaux n°s 6 et 7, p. 1226 à 1229).

L'examen des résultats obtenus dans ces dernières circonstances précédera celui des épreuves normales auxquelles toutes les lampes ont été soumises.

M. Marsaut dit que l'isolement des gaz de la combustion est une cause d'infériorité. Il ajoute cependant qu'en employant des porte-mèche élevés, on augmente l'espace neutre au fond du verre de la lampe et qu'on donne plus de garantie de sécurité à celle-ci. Ainsi qu'on peut s'en convaincre à l'examen du tableau n° 6, cette dernière observation peut être vraie pour les lampes sans cheminée, mais non pour la lampe Mueseler. Ecartant quelques expériences peu nombreuses qui ont été faites sur certaines lampes, ainsi que celles qui ont eu lieu sur des lampes munies de diaphragmes réellement défectueux, nous constatons, en général, avec le type Mueseler, que les porte-mèche élevés facilitent au contraire le passage de la flamme. Dans ces conditions, si l'on diminue peut-être le volume explosif, et si on crée un matelas élastique au fond du verre, on sépare plus complètement les produits de la combustion du mélange explosif, et l'on donne plus de violence à l'explosion. M. Marsaut arrivait au même résultat en allongeant la cheminée en dessous de la toile horizontale. Il a seulement cru pouvoir attribuer l'effet obtenu à l'augmentation de l'espace annulaire compris entre la cheminée et le verre.

Le tableau n° 7 donne les résultats des expériences entreprises avec certaines lampes dont la capacité du verre a été plus ou moins réduite par un anneau en liège placé immédiatement au-dessus du réservoir.

Il nous est impossible d'y reconnaître l'effet de l'espace neutre qui existerait dans le verre en contre-bas de la mèche. En supprimant cet espace à peu près complètement, nous aurions dû produire de plus violentes explosions et, par suite, de plus nombreux passages de la flamme. Tout autre, en général, a été le résultat des expériences. L'effet bien marqué des porte-mèche élevés, employés sans anneau, tendait d'ailleurs à faire croire qu'il devait en être ainsi.

Ces points établis, nous avons cherché à déterminer les causes des phénomènes qui se sont produits dans les lampes lors des expériences normales auxquelles elles ont été soumises (voir tableaux n°s 8, 9 et 10, p. 1230, 1231 et 1232).

Lampe n° 190. — 4 simples passages de la flamme dans le chapeau sur 27 épreuves, soit 27,14 p. °/₀.

Les mailles du diaphragme sont un peu plus grandes pour le diamètre du fil ; le coefficient de sécurité n'est que de 7,18.

Le passage libre du diaphragme n'atteint pas 5 centimètres carrés (4,82) et le rapport entre la capacité du verre et ce vide s'élève à 20,68.

La cheminée est assez rapprochée du porte-mèche, circonstance qui influe beaucoup sur la faculté de passage de la flamme.

Lampe n° 149. — 3 simples passages sur 20 épreuves, soit 15 p. °/₀.

La toile horizontale se trouve dans les mêmes conditions que celles de la lampe précédente, seulement le passage libre atteint 5 cent. c. 90, et le rapport entre la capacité du verre n'est que 17,54.

La cheminée est plus éloignée du porte-mèche.

Lampe 12^{a}. — Passages plus nombreux que dans les deux lampes 190 et 149 ; nombreuses inflammations extérieures.

Les toiles ont été brûlées ; elles sont cependant encore très élastiques.

Le fil du diaphragme a un diamètre un peu supérieur à celui des fils des toiles horizontales des lampes ci-dessus, mais les mailles présentent une très grande section.

Le coefficient de sécurité est peu élevé : seulement 6,75.

Le passage libre de la toile horizontale est à peu près égal à celui de la lampe n° 149 (5 cent. c. 87), mais le rapport entre la capacité du verre et ce vide est un peu plus élevé (18,74).

La cheminée est encore plus éloignée du porte-mèche que celle de la lampe n° 149.

On peut voir aux n°s 1, 2, 3, 4 du tableau n° 10 combien les toiles de la lampe 12$_a$ sont défectueuses.

Lampe n° 12$_b$. — Passages encore plus nombreux : 52,38 p. °/₀.

La toile horizontale est brûlée ; son fil est même très cassant.

Le diamètre du fil est plus petit que 0^{mm},3 ; il semble être égal à 0^{mm},275. Le nombre de mailles, pour ce diamètre, est trop faible. La maille présente une section de 31 centièmes de millimètre carré, la plus élevée de toutes les lampes examinées. Le coefficient de sécurité n'est égal qu'à 5,91.

Lampe n° 390. — Simples passages de la flamme plus nombreux que dans la lampe n° 12$_a$, mais inflammations extérieures en plus petit nombre.

Les toiles sont en bon état et sont semblables à celles des lampes n°s 149 et 190.

Le passage libre du diaphragme n'est que de 4 cent. c. 98, et le rapport entre la capacité du verre et ce vide est près de 20 (19, 80) ; il est ainsi un peu infé-

rieur à celui du n° 190, mais bien supérieur à celui du n° 149.

Quant à la cheminée, elle est un peu plus éloignée du porte-mèche que celle du n° 190, mais moins que celle du n° 149.

On aurait donc dû obtenir plus de passages de la flamme qu'avec cette dernière lampe, mais moins qu'avec le n° 190. Le résultat contraire peut être dû à la nature même du fil ou à un amincissement plus ou moins prononcé. En général, les fils des lampes sont plus ou moins oxydés ; il est malheureusement impossible de se rendre compte du degré d'oxydation, à moins que ce degré ne soit tel que la toile ne présente, pour ainsi dire, plus aucune élasticité et que le fil ne soit devenu réellement cassant.

Lampe n° 224. — Résultat pouvant se comparer à celui du n° 12.

La toile horizontale est en bon état. Elle ne diffère pas de celle des lampes n°s 149, 190 et 390.

La cheminée est assez éloignée du porte-mèche : 20 millimètres, comme au n° 149.

Le passage libre du diaphragme dépasse 5 centimètres carrés (5,28) et le rapport entre la capacité du verre et le passage libre est égal à 18,77 ; il est donc supérieur au rapport du n° 149, mais inférieur à celui du n° 190.

Lampe n° 252. — Cette lampe a donné un chiffre peu élevé de simples passages et d'inflammations extérieures, seulement 6,46 p. °/₀.

Les mailles de la toile horizontale n'ont que 23 centièmes de millimètre carré. Le coefficient de sécurité s'élève à 7,51 ; il dépasse tous les coefficients des lampes précédentes.

Les toiles sont en bon état.

La cheminée est encore plus rapprochée du porte-mèche que celle du n° 190 (17 millimètres au lieu de 18 millimètres).

Quant au passage libre du diaphragme, il est un peu plus grand que celui de cette dernière lampe. Le contraire s'observe pour le rapport entre la capacité du verre et le passage libre.

Les cheminées des lampes examinées jusqu'à présent ont, à leur base, un diamètre relativement faible, tandis qu'au sommet le diamètre est assez élevé.

Lampe n° 165. — Cette lampe s'est assez bien comportée : elle n'a donné que 9,76 p. °/₀ de passages.

Les toiles sont en bon état. Le coefficient de sécurité est égal à 7,87 ; c'est celui de la lampe type.

La distance entre la base de la cheminée et le porte-mèche est égale à 19 millimètres. Le passage libre du diaphragme est relativement élevé : 5,42, et le rapport entre la capacité du verre et ce vide dépasse 21 (21,20).

Lampe n° 267.— 10,71 p. °/₀ de passages, à peu près comme dans la précédente. Le fil de la toile horizontale paraît cependant n'avoir que 0 mil., 3 de diamètre, et par suite les mailles auraient 0 mil. c., 28 de section. Le coefficient de sécurité ne serait ainsi que de 6,75. D'un autre côté, le passage libre de la toile horizontale serait très élevé (6,16) et le rapport entre la capacité du verre et ce vide ne serait que de 18,67.

Lampe n° 231. — Passages assez nombreux : 25,29 p. °/₀, dont 2,30 p. °/₀ d'inflammations extérieures.

Les mailles de la toile horizontale sont un peu irrégulières.

Lampe n° 345. — Cette lampe résiste mieux que les n°s 491 et 503 que nous examinerons immédiatement après. Toutes les trois présentent les plus grands pas-

sages libres à leur toile horizontale et les rapports les plus faibles entre la capacité du verre et ce vide.

Les mailles de la toile horizontale du n° 345 sont en petit nombre et le fil n'a que un quart de millimètre de diamètre. Le coefficient de sécurité est égal à 5,67; c'est le plus faible de toutes les lampes que nous avons expérimentées. De plus, le porte-mèche est assez rapproché de la cheminée (17 millimètres seulement). Ces circonstances devraient rendre les passages assez nombreux. La nature du fil de la toile horizontale et la surface libre, relativement grande de celle-ci, viennent sans doute modifier les résultats.

N°s 491 et 503. — Ces deux lampes, à peu près identiques, se comportent différemment : le n° 491 a donné 31,03 p. °/₀ de passages, le n° 503, 17,24 p. °/₀.

Les coefficients de sécurité des toiles horizontales sont seulement égaux à 6,21.

N°s 1137, 1631, 1966. — Les toiles horizontales des n°s 1137 et 1966 ne sont pas en bon état. Ces toiles, ainsi que celle du n° 1631, présentent le même coefficient de sécurité (7,54).

Les n°s 1631 et 1966 donnent de très nombreux passages : respectivement 82,22 et 81,37 p. °/₀.

Les mailles des toiles horizontales ont une section un peu plus faible que celles des n°s 345, 491 et 503 ; elle est cependant encore trop grande pour le diamètre des fils.

Les passages libres des diaphragmes n'atteignent pas 5 centimètres carrés et les rapports entre la capacité du verre et ce vide sont au contraire assez élevés.

N°s 3 (L), 45, 78. — Ces lampes sont assez correctes, sauf le n° 45 dont le fil de la toile horizontale ne paraît avoir que 0 mil. 3 de diamètre et dont l'ouverture des mailles serait alors de 28 centièmes de milli-

mètre carré. Seule, la première, soumise à de nombreuses épreuves, a donné un simple passage de la flamme au travers du diaphragme.

Les toiles sont en bon état et les porte-mèches sont assez éloignés des cheminées.

Les passages libres des toiles horizontales des nos 3 et 78 sont assez faibles et les rapports entre la capacité du verre et ce vide sont les plus élevés de toutes les lampes éprouvées.

Nos 2 et 3 (H). — Ces lampes n'avaient pas encore servi. Leurs toiles sont en parfait état.

Elles ont cependant donné lieu à des passages relativement nombreux : 18,52 et 21,05 p. %.

Le n° 3 (H), qui peut être comparé au n° 3 (L), s'est tout autrement comporté que ce dernier.

Nos 1182, 1187, 1191. — La lampe n° 1182 a convenablement résisté; il n'en est pas de même des deux autres. Leurs toiles métalliques, sauf le diaphragme du n° 1187, sont dans de bonnes conditions, et les cheminées sont assez éloignées des porte-mèche. Seulement le passage libre des toiles horizontales n'atteint pas 5 centimètres carrés et le rapport entre la capacité du verre et ce vide est d'environ 20.

Nos 939, 955, 1009. — Le n° 939 a fourni le plus grand nombre de passages. La toile horizontale paraît cependant être en bon état. Elle est assez serrée et n'offre qu'un très petit passage libre à la flamme, le plus faible de toutes les lampes passées en revue. Le rapport entre la capacité du verre est assez élevé (21,65).

Le diaphragme n'offre aucune résistance au passage de la flamme; il est même plus défectueux que celui de la lampe n° 1966.

Les lampes 955 et 1009 n'ont fourni aucun passage. La cheminée et le diaphragme du n° 1009 ayant été

transportés au n° 939 ont cependant donné lieu à trois passages sur douze épreuves. Les porte-mèche sont relativement rapprochés des cheminées, mais les passages libres des toiles horizontales sont assez élevés, tandis que les rapports entre la capacité du verre et ce vide sont assez faibles.

Comme on le voit, le problème est très complexe ; parmi les nombreux facteurs qui interviennent, les uns tendent à enrayer le passage de la flamme, les autres, au contraire, à le favoriser. Dans ces conditions, il est souvent difficile de se rendre compte de la circonstance qui doit avoir le plus d'influence sur les phénomènes obtenus. Il y a tout lieu de croire, cependant, ainsi que nous l'avons déjà dit, que la cause principale de la défection des lampes réside dans le degré d'oxydation du fil de la toile horizontale et dans son amincissement. Nous pouvons ajouter que des expériences faites récemment à Saint-Etienne (voir le rapport de M. Le Châtelier au Congrès des mines et de la métallurgie) ont fait reconnaître que les défauts les plus fréquents des lampes donnant lieu à des passages de flamme sont les suivants :

1° Le serrage imparfait du diaphragme contre la cheminée, lequel laisse des vides qui peuvent atteindre la surface de plusieurs mailles ;

2° Les solutions de continuité créées par de trop longues entailles faites dans le diaphragme pour laisser passer la cheminée ;

3° L'amincissement des fils par un usage trop prolongé ;

4° La forme ellitique donnée parfois au diaphragme ; dans ce cas, la toile se plie aux extrémités de son grand axe et empêche le verre de pénétrer à fond dans la vi-

role du tamis. Il peut alors y avoir défaut de contact du diaphragme dans la direction du petit axe; mais l'influence de cette circonstance sur les passages n'a pas été établie avec certitude.

On peut voir aux tableaux n°s 8 et 9 combien les simples passages de flamme ont été nombreux avec certaines lampes. Nous ajouterons qu'ils n'ont pas toujours été accompagnés de l'extinction de la lampe, qui a pu ainsi être éprouvée à plusieurs reprises. Semblable phénomène s'est aussi produit lors de simples explosions. Quant aux inflammations extérieures, elles ont été en petit nombre, et il n'a été possible d'en obtenir, lors des épreuves normales, qu'avec les lampes n°s 12^{a}, 390, 224, 252, 231, 1966 et 1187. Peut-on en conclure que les autres appareils n'offrent aucune cause de danger? Nullement : dès que la flamme a traversé le diaphragme, il suffit d'un faible courant de mélange explosif, d'un petit soufflard, par exemple, pour entretenir la combustion et créer une situation dangereuse. Ce point peut être facilement établi en injectant dans la lampe, vers la base du tamis, un mélange d'air et de gaz d'éclairage, à l'aide d'un bec Bunsen. Les tableaux n°s 11 et 12 (p. 1233 et 1234) donnent les résultats de quelques expériences que nous avons entreprises dans ces conditions. Chaque fois que la flamme a traversé le diaphragme, nous avons pu, en relevant le bec Bunsen, maintenir la combustion du gaz dans le chapeau. Ayant de plus, avec la lampe n° 252, prolongé l'expérience pendant quelque temps, la toile du tamis a rougi et la flamme, après l'avoir traversée, a allumé un bec de gaz placé à côté.

Conclusions. — Ainsi que M. Le Châtelier, nous admettrons que la lampe Mueseler réglementaire belge, bien construite et en bon état de conservation, ne lais-

sera que rarement passer la flamme dans le tamis avec le gaz d'éclairage et jamais avec le grisou (Il s'agit, bien entendu, de la lampe-type dont le porte-mèche est éloigné de 22 millimètres de la cheminée et dont les mailles sont composées de 144 mailles au centimètre carré avec un fil de 1/3 de millimètre de diamètre, et non de la lampe tolérée dont les toiles ne paraissent pas offrir toute la sécurité voulue). Nous ajouterons seulement qu'il résulte des expériences rapportées dans cette note qu'il serait prudent d'éloigner davantage le porte-mèche de la cheminée. Malheureusement, dès que la lampe est transportée dans la mine, et dès surtout que, pour la nettoyer, on soumet les toiles à l'action du feu, celles-ci s'oxydent plus ou moins profondément et n'offrent plus la même résistance au passage de la flamme. Expérimentées dans des mélanges d'air et de gaz d'éclairage, ces lampes, ainsi détériorées, donnent même lieu à des inflammations extérieures ; de plus, nous croyons que l'oxydation des fils et leur amincissement peuvent être tels que la flamme vienne à traverser le diaphragme et le tamis à la suite d'explosions internes produites avec du grisou, ou qu'après avoir traversé seulement la toile horizontale, elle se maintienne dans le chapeau et crée, ainsi que nous l'avons vu, une situation dangereuse.

La cause principale de la détérioration des toiles réside, selon nous, dans le système de nettoyage généralement employé : les fils métalliques soumis à l'action du feu s'oxydent et leur décomposition ainsi commencée dans la lampisterie doit être d'autant plus rapide dans les travaux. Nous estimons qu'en faisant usage d'un autre procédé de nettoyage, moins économique au premier abord, on conservera tout autrement les toiles métalliques et qu'en rejetant celles qui sont sérieuse-

ment oxydées, on évitera certains accidents restés inexpliqués avant l'étude si intéressante de M. Marsaut.

M. Brard, ingénieur à la Compagnie de Belmez (Espagne), après s'être excusé de prendre la parole sans préparation, déclare qu'il est un partisan, presque un fanatique de la lampe Marsaut et ajoute :

Si la lampe Davy n'offre pas actuellement la sécurité qu'on en attendait, c'est — de nombreuses expériences l'ont démontré — qu'on est sorti de la vérité en construisant des lampes Davy grand modèle. La lampe primitive de Davy, d'un petit volume, facile à manier et que le mineur anglais porte encore à la main, rendrait de grands services, mais on en a augmenté le diamètre, la hauteur, on a fait, en un mot, la lampe Davy grand modèle ; c'est une lampe qui doit être absolument rejetée.

La lampe Mueseler fut un véritable progrès ; elle a cette incontestable supériorité sur la lampe Davy qu'elle donne de la lumière. Elle a beaucoup de partisans. Cependant certains accidents inexpliqués jusqu'à ce jour démontrent qu'elle a des imperfections. Ces accidents sont probablement dus au déplacement des fils du diaphragme horizontal qu'il faut couper circulairement et pour lequel il vaudrait peut-être mieux trouver une autre disposition. Il y a là un vice de construction sur lequel j'appelle votre attention.

La lampe Marsaut réalise, à mon sens, un progrès plus considérable ; elle donne au moins autant de lumière que la lampe Mueseler et présente plus de sécurité.

La lampe Fumat est, à mon avis, une lampe excellente. Les nombreuses expériences auxquelles elle a donné lieu, le mémoire que vient de nous lire son au-

teur et les explications dont il l'a fait suivre éclairent la question d'un nouveau jour. Malheureusement M. Fumat arrive le second, et le progrès qu'il réalise avec la lampe dont il est l'inventeur, M. Marsaut l'avait réalisé avant lui. Ce qu'il faut conclure de tout cela, c'est que les lampes Marsaut et Fumat sont deux lampes excellentes. Seulement, je le répète, l'une a eu l'avantage de venir avant l'autre. Et puis il y a une question que personne, je crois, n'a touché jusqu'ici et à laquelle je désirerais bien qu'il fût répondu. Le grisou s'enflamme à une température très élevée : 600 ou 700 degrés ; mais il y a des gaz qui s'enflamment à 150 degrés. Est-ce que la lampe Fumat est faite également pour ces gaz s'enflammant à basse température ?

Je passe maintenant à la question de la fermeture des lampes. En pareille matière, c'est une question capitale. Toutes les fermetures usitées jusqu'à ce jour sont mauvaises, particulièrement les fermetures à clés. Tous ceux qui exploitent des mines ont dû trouver des clés dans les vêtements des ouvriers. On a parlé tout à l'heure d'une fermeture telle qu'une prime avait été promise à l'ouvrier qui pourrait l'ouvrir, il serait à désirer que cette fermeture fût réellement aussi parfaite, car elle devrait être partout adoptée et beaucoup d'accidents seraient ainsi évités. Dans tous les cas, cette question est une de celles qui méritent le plus d'être étudiées.

Enfin — et ce sera mon dernier mot — je ne saurai trop appeler votre attention sur les précautions que l'on doit prendre relativement au bon entretien des lampes. Quel que soit le type adopté, quel que soit le mode de fermeture, les lampes doivent être vérifiées chaque jour et les ingénieurs doivent s'assurer qu'il n'y a pas dans les tamis un seul fil usé ou oxydé. (*Applaudissements.*)

M. Marsaut. — Messieurs, un des précédents orateurs, en rendant compte des expériences faites dans ces derniers temps à Liège, par les ingénieurs du Corps des mines de Belgique, pour contrôler les principes que j'ai posés dans mon Etude sur la lampe de sûreté des mineurs, et les nouveaux points faibles que j'ai signalés au type Mueseler, a dit qu'il était regrettable qu'on n'ait pas indiqué les dimensions des lampes Mueseler qui ont servi aux expériences de Bessèges. Il m'a paru que la spécification *type belge* désignait suffisamment les dimensions si soigneusement fixées par les ingénieurs belges. Les autres lampes de ce type, appelées improprement Mueseler, sont très inférieures, et il est, en effet, très nécessaire d'en préciser les dimensions lorsqu'on veut les produire.

Les lampes des expériences de Bessèges sont donc des lampes du type correct belge, c'est-à-dire des lampes Mueseler réglementaires. Les dessins que j'ai publiés ne sont pas suffisamment cotés peut-être, mais comme ils représentent les lampes à demi-grandeur, il est facile de se rendre exactement compte de leurs dimensions.

Je ferai remarquer, à ce propos, que j'ai été un des premiers à introduire en France l'usage de la lampe Mueseler, *type belge*, qui est relativement une bonne lampe. Seulement c'est un appareil dont tous les organes ont besoin d'être tenus en bon état, et dont la disposition doit être strictement conservée, ce qui présente dans la pratique d'assez grandes difficultés. La cheminée et le diaphragme principalement forment un ensemble essentiellement délicat ; le diaphragme, dont on a parlé tout à l'heure, n'est pas facile à tenir toujours bien serti sur le tronc de cône en tôle, à cause de sa disposition perpendiculaire et des jeux qui résultent de la dilatation d'une pièce alternativement chauffée et refroidie. M. Le Châtelier a signalé des expériences récentes

dans lesquelles il avait constaté que le feu passait au-dessus du diaphragme de la Mueseler, surtout par le joint mal fait ou rendu défectueux à l'usage et assez difficile à surveiller, et cependant les lampes d'épreuves provenaient d'une lampisterie qui a la réputation d'être bien tenue. Cela prouve que l'organe dont il est question, et dont le rôle est si prépondérant dans la Mueseler, est, comme je viens de le dire, particulièrement délicat.

Quoi qu'il en soit, je puis affirmer que les phénomènes que j'ai rapportés se sont montrés avec des lampes Mueseler, neuves ou ayant déjà servi, dont le diaphragme était parfaitement joint à la cheminée. Chacun peut d'ailleurs les reproduire pour s'édifier au besoin.

Si j'ai bien compris la communication de M. l'Ingénieur Roberti, les ingénieurs belges se sont rendu compte des phénomènes et de l'exactitude des principes que j'en ai tirés. Le désaccord qui paraît exister entre nous, en ce qui touche l'influence favorable que j'ai attribuée au culot neutre, n'a pas grande importance ; il tient peut-être à une disposition relative différente de la cheminée et du porte-mèche, disposition qui peut modifier considérablement la résistance de la lampe. C'est un point à éclaircir, mais que je ne puis traiter sur une simple communication verbale dont je n'ai peut-être pas bien saisi tous les détails. En faisant jouer un rôle au culot neutre de la lampe, j'ai eu simplement en vue l'affaiblissement indiscutable de l'énergie de l'explosion interne résultant de la présence d'un plus petit volume de gaz détonant dans le verre ; mais, je le répète, c'est là un point d'importance très secondaire et il me semble qu'on peut dire que les expériences de Bessèges et de Liége ont donné des résultats concordants.

M. Marsaut donne ensuite communication d'une brochure distribuée la veille aux membres du Congrès et intitulée « les lampes desûreté des Commissions officielles du grisou ». Maintenant que toutes les Commissions officielles ont terminé leurs travaux, il a paru intéressant à M. Marsaut de résumer et d'analyser leurs conclusions, en ce qui concerne les lampes de sûreté. M. Marsaut ajoute qu'il s'acquitte d'ailleurs ainsi d'une tâche qu'il avait assumée antérieurement vis-à-vis de la *Société de l'Industrie minérale* et qu'il ne saurait le faire plus opportunément que devant un Congrès international, vu le caractère général de la revue en question.

LES LAMPES DE SURETÉ
DES COMMISSIONS OFFICIELLES DU GRISOU

Jusqu'à ces dernières années, les lampes de sûreté des mineurs avaient été établies d'une manière empirique; l'absence de bases ou de règles pour guider les chercheurs laissait libre carrière à leur imagination, qui s'est du reste très largement exercée, comme en témoignent la multiplicité et l'originalité des dispositions proposées. Autrefois, le choix d'une lampe rendait perplexe; aujourd'hui, grâce aux travaux des Commissions officielles instituées dans divers pays pour l'étude de l'importante question des lampes, et aux principes que j'ai posés à la suite d'expériences longues et variées, il est possible d'apprécier ces appareils délicats en connaissance de cause. Chacun peut se reconnaître dans la collection trop garnie des lampes actuelles, voir leurs bons côtés, distinguer leurs points faibles, écarter les lampes insuffisantes, choisir parmi les plus sûres et au besoin contribuer à les améliorer. C'est ainsi que j'ai été amené moi-même à présenter aux mineurs, il y a quelques années, à la suite de mes recherches, un type de lampe qui paraît

constituer un progrès réel sur les meilleures lampes employées jusqu'ici dans les mines.

Les principes relatés dans mon *étude sur la lampe de sûreté des mineurs* ont été contrôlés par toutes les Commissions officielles, par diverses Commissions privées, et reconnus exacts; ils sont sanctionnés par une foule d'épreuves de lampes faites dans ces derniers temps, en France, en Belgique, en Allemagne et en Angleterre; ils forment la substance de l'enseignement dans les Ecoles spéciales de l'Etat, en ce qui touche l'éclairage des mines à grisou. On ne se borne plus dans ces Ecoles à de simples descriptions d'appareils de forme et de dimensions quelconques; on y expose une véritable théorie de la lampe de sûreté.

Conditions auxquelles doivent satisfaire les lampes de sûreté. — Pour protéger efficacement dans tous les cas dangereux qui peuvent se présenter dans le travail des mines grisouteuses, les lampes doivent résister :

1° *A l'expansion subite du gaz lorsqu'il détone dans l'intérieur de la lampe;*

2° *A la poussée extérieure et aux effets des courants d'air sur le gaz enflammé dans la lampe;*

3° *A l'action simultanée de ces deux influences.*

J'ai démontré que pour combattre efficacement la première de ces circonstances critiques, l'explosion interne, il fallait que la lampe fût de petit volume, le verre de petit diamètre et surtout de faible hauteur, et la toile métallique surmontant le verre aussi développée que possible;

Qu'on devait écarter tout obstacle matériel de l'intérieur des lampes, supprimer la cheminée pour divers motifs, et éviter les changements brusques de section intérieure;

Que deux toiles métalliques successives au moins étaient nécessaires pour isoler l'atmosphère grisouteuse ambiante du feu de la lampe, et qu'il ne serait que prudent d'en employer trois pour le gaz d'éclairage ;

Qu'il convenait de régler l'accès de l'air dans les lampes, de le restreindre à ce qui est indispensable pour un éclairage normal, et d'éviter les affluences subites et directes de mélanges détonants sur la flamme des lampes.

La deuxième circonstance critique, l'une des plus graves à laquelle peuvent être soumises les lampes, courants gazeux, peut être combattue et presque annihilée au moyen d'enveloppes pleines transparentes, d'écrans, de cuirasses ou de tout autre engin couvrant la lampe ou les parties de la lampe dans lesquelles le gaz peut brûler ; mais il est indispensable de disposer ces enveloppes de telle sorte qu'elles laissent aux tamis, organes essentiels des lampes, tout leur rôle et toute leur action ; autrement on parerait à un danger en tombant dans un autre.

Enfin, le troisième cas dangereux spécifié, la simultanéité des deux influences précédentes, doit disparaître, si on a pris les précautions nécessaires pour détruire séparément les effets de ces deux influences.

On est généralement d'avis qu'il convient que les lampes de sûreté avertissent l'ouvrier, lorsque le milieu dans lequel il se trouve devient notablement grisouteux, et même qu'elles s'éteignent automatiquement dès que l'atmosphère devient inflammable, afin de l'obliger à se retirer. Ces résultats sont *pratiquement* obtenus au moyen des lampes à alimentation renversée, c'est-à-dire prenant l'air par le haut du verre (1).

---

(1) Quelques ingénieurs désireraient même que la lampe *des ouvriers* s'éteignit beaucoup plus tôt, à 4 ou 5 p. °/₀ de grisou,

Je dis pratiquement, parce qu'il faut distinguer entre le laboratoire et la mine. Au laboratoire, avec des mélanges dosés, l'extinction ne se produit que lorsque ces lampes sont mises dans un milieu nettement explosif, mais elles continuent à brûler tant qu'il n'est que simplement inflammable et jusqu'à la limite extrême de ce dernier état. La cheminée recule quelque peu cette limite et rend les lampes plus tenaces dans le gaz. Dans la mine, on ne saurait raisonnablement supposer une atmosphère aussi bien préparée, de composition aussi uniforme, restant partout et longtemps dans les limites de l'état de simple inflammabilité. Il y aura toujours certains points plus élevés où l'atmosphère sera explosive et où la lampe donnera l'avertissement absolu de l'extinction.

Dans tous les cas, les symptômes accusés dans le grisou par les lampes à alimentation renversée, avant l'état d'explosibilité de l'atmosphère, sont toujours assez manifestes pour qu'avec un peu d'attention on soit avisé en temps opportun de l'état spécial du milieu dans lequel on se trouve. La flamme tressaille, s'agite et diminue d'éclat; elle s'allonge démesurément ou se réduit quelquefois à un point tout à fait voisin de l'extinction. Au simple toucher la lampe prévient encore de la présence du grisou parce qu'elle s'échauffe; une cuirasse rend d'ailleurs ce caractère plus sensible.

Si pour certaines lampes à alimentation renversée le feu follet de gaz persiste dans les tamis surmontant le

---

par exemple; mais c'est là un problème difficile à résoudre et pour lequel le champ reste ouvert.

Aux épreuves de laboratoire, la lampe Mueseler réglementaire belge brûle jusqu'à près de 8 p. °/₀ de gaz dans l'air; la lampe Marsaut s'éteint un peu plus tôt.

On sait qu'aux approches de 6 p. °/₀ commence l'état d'inflammabilité.

verre, la flamme éteinte ou presque éteinte, c'est sans inconvénient et sans danger, le feu étant éloigné du verre, à la condition, toutefois, de soustraire ces tamis à une trop forte affluence de gaz et à l'action mécanique des courants.

Dans les lampes alimentées par le fond ou dans les ampes à cheminée et diaphragme du type Mueseler, le grisou peut, en certaines circonstances, soit dans une atmosphère en repos, soit dans des courants gazeux, brûler indéfiniment contre le verre et sur le réservoir d'huile, échauffer le verre assez pour le faire éclater, l'huile au point de la mettre en ébullition et de la volatiliser même. Ce sont là des situations périlleuses, assurément rares dans la pratique, mais avec lesquelles il faut néanmoins compter lorsqu'on a à faire le choix d'une lampe de sûreté.

Remarques pratiques. — En dehors des dispositions essentielles se rapportant plus spécialement au type des lampes, il y a les nécessités et les difficultés pratiques qui jouent un rôle considérable, pour ne pas dire prépondérant, dans la sécurité des mines. Il faut que la lampe soit simple, facile à entretenir et à contrôler dans tous ses détails ; il convient que ses éléments principaux ne puissent se déformer, se détériorer, car d'insignifiants changements de forme, de dimensions, la plus légère avarie aux toiles métalliques peuvent enlever à la lampe toute son efficacité. Et il y a lieu de remarquer combien c'est délicat, lorsqu'on a affaire à des centaines, à des milliers de lampes mises journellement en service, aux mains d'hommes ordinairement fort peu soigneux, exposées à toutes sortes de chocs et d'accidents au milieu d'un travail obscur, compliqué, difficile, et qu'une seule lampe défectueuse suffit pour mettre en péril et les mineurs et la mine.

Ces considérations commandent impérieusement de multiplier les protections, les précautions et de ne pas simplement se contenter de ce qui est indiqué comme suffisant par les expérienees de laboratoire, d'autant plus qu'on n'est jamais certain de reproduire dans un laboratoire toutes les circonstances critiques qui peuvent se présenter dans les mines.

Préparation des lampes. — On ne peut nier que l'agencement des lampes, c'est-à-dire l'assemblage de leurs diverses pièces entre elles, ne soit encore bien primitif et bien incertain, en France spécialement, et la préparation des lampes dans les lampisteries souvent bien négligée. On n'a pas encore compris partout combien le service des lampes est important, qu'il ne comporte pas de petites économies, ni sur le prix des lampes qu'il faut construire sérieusement et solidement, ni sur la préparation quotidienne qu'on abandonne souvent encore à des femmes ou à des enfants trop jeunes. On devrait toujours avoir deux jeux de lampes, au lieu du jeu unique préparé à la hâte, la nuit, pour le lendemain, car la visite, le nettoyage, le contrôle des lampes forment un travail minutieux demandant des soins, du temps et le grand jour. Il n'est pas prudent non plus de confier ce service à un entrepreneur et de trop s'en désintéresser.

Fermeture des lampes. — Un autre point capital de la lampe de sûreté réside dans le mode de fermeture. Un certain nombre d'ouvriers, quoi qu'on fasse, quelque terribles que soient les leçons de l'expérience, conservent encore la malheureuse habitude d'ouvrir les lampes à l'encontre des règlements et malgré les punitions les plus sévères. Comme ordinairement, même dans les mines très grisouteuses, on s'arrange pour n'avoir pas de grisou dans les chantiers, ils ne peuvent

comprendre qu'on les astreigne à des précautions la plupart du temps inutiles, et les surprises se produisent précisément le plus souvent dans les quartiers où elles paraissent le moins à redouter. C'est un fait de la pratique. La crainte chez les ouvriers est un des grands éléments de sécurité des travaux ; il s'agit de la leur inspirer. Dans tous les cas, il est indéniable que beaucoup d'accidents de grisou sont dus à l'ouverture subreptice des lampes de sûreté, et il n'est pas douteux qu'une fermeture plus absolue que celle qu'on pratique ordinairement en diminuerait considérablement le nombre.

Il en existe d'ailleurs de très efficaces, ayant reçu la sanction de la pratique dans de grandes mines, telles, par exemple, que la fermeture magnétique Villiers, la fermeture hydraulique Cuvelier, la fermeture au rivet de plomb, etc. On ne peut que recommander aux intéressés d'entrer dans cette voie de la fermeture absolue, car elle est incontestablement indiquée par la statistique des accidents de grisou.

A l'aide des principes et des considérations qui précèdent, je vais essayer d'analyser les conclusions des Commissions officielles en ce qui concerne les lampes de sûreté.

COMMISSION BELGE

Les Belges ont été les premiers à se préoccuper de l'étude des lampes de sûreté. Dès le 29 avril 1864, l'administration de ce pays prescrivait l'emploi de la lampe Mueseler dans les mines.

La Commission officielle de 1868, à la suite de très nombreuses expériences sur les lampes de sûreté connues, et particulièrement sur le type Mueseler, a conclu à la supériorité de ce type sur tous les autres. Elle a particulièrement étudié la cheminée, organe important de la lampe Mueseler, et déterminé empiriquement la

meilleure disposition et les meilleures dimensions à lui donner pour obtenir le maximum de sécurité.

Les travaux de la Commission belge, publiés à Bruxelles en 1873, sont très remarquables. Un Arrêté royal du 17 juin 1876 en a sanctionné les conclusions, en rendant définitivement obligatoire l'emploi de la lampe Mueseler, avec les dispositions et les dimensions portées aux dessins, voir Pl. XVIII, Fig. 1 et 2, dans toutes les mines belges.

L'Administration belge n'a pas présenté la lampe Mueseler, qu'elle imposait, comme absolument sûre ; elle a pris grand soin au contraire d'en indiquer certains côtés faibles que les expériences de la Commission avaient dévoilés. Depuis, envisageant la question sous un côté nouveau, j'en ai indiqué d'autres. En les résumant tous, on a l'exposé, utile à connaître, des circonstances dans lesquelles la lampe Mueseler belge se montre insuffisante :

1° Dans une atmosphère inflammable, la lampe Mueseler fait défaut sous l'action de courants obliques, ascendants, descendants ou de courants tourbillonnants. Dans ces circonstances, la flamme de la lampe se déplace ou s'écrase, le gaz inflammable pénètre dans la cheminée par le haut ou encore y entre par le bas, si la flamme est suffisamment infléchie contre le verre par le courant, et le feu monte inévitablement au tamis d'où le courant le chasse au dehors.

Un courant horizontal avec une composition irrégulière du mélange explosif, lancé sur la lampe, peut aussi, mais plus rarement, enflammer l'atmosphère extérieure ;

2° Le petit feu classique pratiqué pour la recherche du grisou peut aussi rendre la cheminée libre, surtout si on incline la lampe, c'est-à-dire laisser l'atmosphère

inflammable se substituer aux gaz brûlés. Le feu monte alors au tamis : un mouvement brusque imprimé à la lampe, le moindre défaut à la toile métallique, deviennent un péril ;

3° L'affluence subite d'un mélange explosif sur la lampe Mueseler peut provoquer une détonation dans le verre, capable de chasser la flamme à travers le diaphragme ; si un courant gazeux, même modéré, arrive en même temps sur la lampe, il peut se faire que l'action simultanée et réunie des deux influences sur une seule toile métallique chasse le feu au dehors ;

4° La lampe Mueseler introduite dans un excès de gaz d'éclairage au repos, puis ramenée dans une zone inflammable, donne des explosions intérieures capables de chasser la flamme à travers le diaphragme et le tamis extérieur. La cheminée et le petit feu favorisent ces défections. Bien que le grisou soit, dans ces circonstances, considérablement moins dangereux que le gaz d'éclairage, il n'est pas absolument certain qu'on soit à l'abri d'un accident dans tous les cas ;

5° Les courants gazeux à partir de 3 mètres de vitesse par seconde entretiennent le feu dans le verre, sous le diaphragme, et créent, par conséquent, une situation périlleuse ;

6° Le tamis extérieur, insuffisamment protégé par quelques tringles, est exposé aux coups de pics, de crochets de lampes, et à tous les chocs ou dégradations inhérents à un travail grossier. Le tamis avarié, il ne reste plus qu'une demi-protection. Ces accidents sont fréquemment constatés dans la pratique ;

7° Enfin, comme imperfection d'un autre ordre, la lampe Mueseler s'éteint lorsqu'on la penche, ce qui gêne l'examen du toit des chantiers et trouble considérablement le travail dans les mines où les ouvriers sont dis-

persés ; c'est là un de ses grands inconvénients. Elle s'éteint trop facilement dans l'exploration des cloches contenant du grisou.

La cheminée et le diaphragme sont d'un entretien difficile et se déforment ou se détériorent souvent. La cheminée perd facilement sa verticalité et le diaphragme, délicat à sertir convenablement sur la cheminée, forme un joint souvent imparfait ou rendu tel par la chaleur et la dilatation, et peu commode à contrôler.

Malgré tous ces points faibles, la lampe Mueseler était certainement la plus sûre à l'époque des travaux de la Commission belge : son alimentation renversée, la double protection offerte par le diaphragme et le demi-écran formé par la cheminée lui donnent des qualités précieuses. Mais elles ne satisfont pas tous les desiderata, et c'est ce qui explique les nombreux efforts tentés de divers côtés, soit pour l'améliorer, soit pour trouver une lampe meilleure.

En terminant, faisons remarquer que la Mueseler belge gagnerait beaucoup en sécurité à être agencée à la manière anglaise, c'est-à-dire en assurant le contact aux jointures de ses diverses pièces, dans la mesure nécessaire, au moyen de la virole mobile, de course variable, qui emprisonne dans la cage le verre, la cheminée et le tamis, indépendamment du réservoir d'huile, c'est là un perfectionnement important à appliquer d'ailleurs à toutes les lampes de sûreté.

COMMISSION FRANÇAISE

Le rapport de la Commission française du grisou instituée en 1877 a été publié à l'Officiel du 1er avril 1882.

Après de nombreuses recherches, cette Commission a conclu à l'emploi dans les mines de la lampe Mueseler, type belge, faute de mieux, et engagé à essayer

dans un certain nombre d'exploitations le type de lampe que je lui avais soumis, aux derniers moments de ses travaux, et qui lui paraissait, après examen et épreuves, réaliser un progrès désirable.

Voir Pl. XVIII, Fig. 3, 4 et 5, les deux lampes recommandées par la Commission française.

Je dois faire remarquer que la lampe Marsaut, soumise à l'examen de la Commission française, n'avait pas encore sa disposition actuelle.

Elle comprenait les éléments suivants :

Un réservoir d'huile ;

Un verre ;

Une cheminée Mueseler sans diaphragme ;

Un tamis ;

Une cage protégeant le verre surmonté d'une cuirasse, mettant le tamis à l'abri des courants d'air et des chocs pendant le travail.

La cuirasse portait à la base sur les ouvertures d'entrée d'air une virole mobile permettant d'étouffer à volonté la lampe.

La résistance exceptionnelle de cette lampe primitive, dans les courants de sens quelconque, m'a déterminé à entreprendre sur les lampes de sûreté une série d'expériences, dont j'ai parlé au début de cette note, et desquelles sont sortis les principes que j'ai exposés. Mettant en œuvre ces données rationnelles, j'ai combiné la lampe Marsaut actuelle dont le croquis est donné Fig. 5.

C'est, on le voit, une disposition analogue à celle de la lampe primitive ; toutefois, la nouvelle lampe porte deux treillis concentriques non jointifs, et n'a plus de cheminée à l'intérieur.

L'adjonction du deuxième tamis et la suppression de la cheminée ont été inspirées par les résultats des épreuves que j'ai fait subir aux diverses lampes de

sûreté. Il semble, d'ailleurs, de la prudence la plus élémentaire de ne pas se contenter d'une protection unique, lorsqu'on sait que la moindre avarie, la plus légère irrégularité de la toile métallique, suffisent à en paralyser l'effet. Avec deux protections, on a toutes chances d'en avoir une intacte et efficace.

Cette nouvelle disposition de lampe a été soumise à la Sous-Commission française des lampes et s'est très bien comportée aux épreuves.

Il n'est pas douteux qu'elle soit plus sûre que l'ancienne. Or, s'il ne manquait, en 1882, à l'ancienne que la sanction de la pratique pour être recommandée d'une manière plus spéciale par la Commission française, aujourd'hui que la nouvelle lampe est adoptée par presque toutes les mines françaises et anglaises, et qu'elle y est en usage depuis plusieurs années, on doit admettre que si la Commission française avait à conclure à nouveau, elle mettrait cette lampe en complète évidence.

On n'a reproché à cette lampe que l'opacité de la cuirasse empêchant de constater d'un seul coup d'œil la présence ou l'absence du tamis ; on a dit que le lampiste pouvait oublier de mettre cette pièce essentielle dans la lampe. Sans doute, c'est une étourderie possible ; mais si on admet des lampistes capables de commettre une faute aussi grossière, comment comprendre qu'on puisse leur confier l'examen et le contrôle si délicats des toiles métalliques, dans lesquelles les défauts les plus insignifiants peuvent avoir les conséquences les plus graves ? D'ailleurs, les tamis se voient à travers le verre, l'ouvrier qui reçoit une lampe a le devoir de l'examiner et de s'assurer si ses pièces sont bien assujetties, ce qui se fait de la manière la plus simple en pinçant le verre entre deux doigts et en essayant de lui imprimer un déplacement vertical. S'il

n'y a pas de jeu, on a la certitude que toutes les pièces sont à leur place et que les contacts aux joints sont bons. On peut encore obliger l'ouvrier à visser lui-même la cuirasse sur la cage, en lui remettant isolément ces deux parties de la lampe.

De sorte qu'il faut admettre une faute lourde, successivement chez deux préposés, pour que l'objection porte. On n'a pas toujours pareille garantie.

La lampe Marsaut est simple, robuste. Tous ses éléments sont solides et d'un entretien extrêmement facile. Elle n'a aucun des côtés faibles ni des inconvénients de la Mueseler belge à l'usage. Les tamis sont à l'abri des chocs et des avaries.

L'agencement anglais et une fermeture absolue en font un appareil qui paraît très satisfaisant.

Son pouvoir éclairant est de 0,62 de celui d'une bougie de l'Etoile, tandis que celui de la Mueseler belge n'est que de 0,44.

LA LAMPE MARSAUT EN BELGIQUE

La Commission officielle belge de 1868 n'avait pu étudier la lampe Marsaut qui n'existait pas au moment de ses travaux sur les lampes. Celle de 1879 n'a dressé qu'un programme de recherches, et la mission d'étudier des moyens préventifs contre les explosions de grisou est finalement retournée aux Ingénieurs du Corps des Mines.

La lampe Marsaut n'a été soumise à ces Ingénieurs qu'en 1882. Présentée par M. Habets, elle fut au début assez mal accueillie. A une séance de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège, l'un d'eux, et des plus marquants, alla même jusqu'à dire qu'il ne descendrait pas sans crainte dans une mine dangereuse avec une lampe Marsaut. Au surplus, ces dispositions ne pouvaient que rendre le contrôle provoqué plus

sévère, et des épreuves comparatives sur les lampes Mueseler et Marsaut furent entreprises en 1883 à Liège. Les résultats de ces épreuves sont consignés dans une note inédite, datée de février 1883, adressée à l'Administration des mines belges, et dont je dois l'obligeante communication au Ministre de l'intérieur de Belgique.

Voici les conclusions de ce rapport :

Conclusions belges. — « Les expériences dont le « compte-rendu précède, bien qu'elles soient comparativement peu nombreuses, nous permettent de dire « que la lampe Marsaut, *dépouillée de sa cuirasse*, est « beaucoup moins sûre dans les courants explosifs « rapides que la lampe Mueseler ordinaire. Les lampes « Marsaut sans cuirasse résistent fort bien à l'action du « courant, jusque vers 4 mètres de vitesse, pourvu que « l'air reste chargé d'une quantité de gaz suffisante ; « mais elles donnent lieu à des explosions, dès la « vitesse de $2^m,80$ par seconde, si l'on supprime, momentanément, l'arrivée du gaz. A partir de 4 mètres « de vitesse, l'explosion se produit spontanément. (Il « est bien entendu que ces chiffres-limite ne présentent « qu'une approximation.)

« Je ne parlerai pas de la lampe de porion à simple « toile, qui laisse sortir la flamme plus rapidement et « dans des courants de vitesse beaucoup plus faible ; « mais la lampe de porion à deux toiles jointives est « comparable aux lampes Marsaut sans cuirasse ; elle « se comporte de la même manière que celles-ci dans « les courants de vitesse intermédiaire, où la manœuvre « du robinet à gaz est nécessaire pour amener l'explosion ; cependant elle commence à produire spontanément l'explosion à $3^m,35$ de vitesse, tandis que « pour la lampe Marsaut il a fallu une vitesse de 4 « mètres environ. La lampe Marsaut a donc sous ce

« rapport une certaine supériorité, mais qui n'a pas « bien grande importance au point de vue pratique.

« La lampe Mueseler n'a donné lieu à aucune ex- « plosion dans les courants *réguliers ;* vu le petit nom- « bre des essais auxquels nous l'avons soumise, nous « ne pourrions rien en conclure, si les nombreuses « expériences de la Commission des lampes n'avaient « prouvé la sûreté presque absolue de la lampe Mue- « seler, en dehors de certaines circonstances spéciales, « notamment les courants plongeants et tourbillonnants « et la diminution momentanée de la proportion du « gaz. — Ici encore, le courant tourbillonnant a pro- « duit son effet, d'une manière presque infaillible, sur « la lampe Mueseler *non pourvue de cuirasse.*

« Nous croyons pouvoir conclure de nos expériences « que tout le mérite de la lampe Marsaut réside dans « la cuirasse, organe qui est loin d'être une nouveauté.

« La lampe Mueseler, revêtue d'une cuirasse, a ré- « sisté aux courants tourbillonnants ; la lampe de po- « rion à *simple toile* avec cuirasse n'a pas fait explo- « sion dans un courant de $4^{m},50$ de vitesse, même en « employant la cuirasse d'une construction assez pri- « mitive, dont on se sert à la houillère Marie dans cer- « tains cas spéciaux, et qui laisse à découvert le dessus « de la toile métallique sur quelques millimètres de « hauteur.

« Il ne faut, d'ailleurs, pas perdre de vue que les « expériences négatives, comme celles dont il s'agit « ici, ne valent que lorsqu'elles sont en très grand « nombre. Il est possible que l'addition de la cuirasse « à la lampe Mueseler, qui présente déjà par elle-même « un haut degré de sûreté, la protège contre le petit « nombre de circonstances où elle se trouve en défaut ; « cependant nous n'oserions l'affirmer quant à présent, « et nous affirmerions encore moins que la cuirasse

« suffise pour donner une sûreté absolue à la lampe « de porion à simple toile ou à la lampe Marsaut. Il « faudrait toute une série prolongée et variée d'essais « pour résoudre cette question.

« Je ferai, sur la lampe Marsaut, une dernière obser- « vation : c'est que la façon dont la cuirasse y est « adaptée permet aux ouvriers de l'enlever dans les « travaux souterrains, et que l'on se trouve alors en « présence d'une lampe qui n'a qu'un degré de sûreté « assez imparfait. »

A la lecture des conclusions seules du rapporteur belge, on peut se demander si des épreuves comparatives de résistance à l'explosion de la vraie lampe Marsaut, c'est-à-dire de la lampe munie de tous ses organes, avec la lampe Mueseler belge, ont bien réellement été faites. Je dois donc ajouter que le résumé du rapport indique :

Onze expériences sur la lampe Marsaut complète dans des courants de $2^m,80$ à $4^m,50$ de vitesse, *avec et sans manœuvre du robinet* (1), sans produire d'explosion ;

Quatorze expériences sur la Mueseler type, dans des *courants réguliers* de 2 mètres à $4^m,50$ de vitesse sans explosion ;

Cinq expériences Mueseler type, dans un *courant tourbillonnant* de $2^m,45$ à 4 mètres de vitesse, avec deux explosions extérieures.

Il est regrettable que les Ingénieurs belges, en présence d'une lampe simple montrant une résistance aussi absolue, n'aient pas poussé plus loin leurs épreuves. C'est, m'a dit l'un des opérateurs, qu'il ne leur paraissait guère possible qu'un courant gazeux, *quelle*

---

(1) La manœuvre du robinet consiste à faire arriver sur la lampe un courant gazeux de composition irrégulière.

que fût sa vitesse ou son inclinaison, pût mettre en défaut une lampe munie d'une cuirasse bien adaptée. La résistance de la Clanny, à simple toile, avec une cuirasse mal adaptée, les confirmait dans cette opinion.

En définitive, il ressort des expériences de Liège cet enseignement, utile à retenir, que deux tamis séparés, non protégés par une cuirasse, offrent un peu plus de résistance aux courants que deux tamis jointifs ; et que les Ingénieurs belges n'ont pu mettre en défaut la lampe Marsaut dans aucune circonstance, et notamment dans certains cas où la lampe Mueseler enflamme infailliblement l'atmosphère extérieure, cas pouvant se rencontrer dans les mines.

Inutile d'insister sur la disposition que les Ingénieurs belges ont appelée : *lampe Marsaut sans cuirasse.* Il était évident *a priori* qu'elle n'était point comparable à la disposition Mueseler.

Quant à l'observation incidente relative à la cuirasse, *organe qui serait loin d'être une nouveauté*, était-elle nécessaire ?

Elle ne change rien au côté intéressant de la question et n'a pu assurément être inspirée par la lecture de mon Etude sur la lampe de sûreté des mineurs. J'ai dit que l'efficacité de la cuirasse résulte surtout de sa disposition propre et de sa coordination avec les autres organes de la lampe, et je crois encore que c'est exact. Enfin, en ce qui touche l'amovibilité de la cuirasse, le rapport belge montre une fois de plus combien il est difficile de satisfaire tout le monde par un même moyen : les uns la veulent mobile, les autres la préfèrent fixe. Rien de plus facile que d'obtenir ces résultats séparément ; on peut même les avoir tous les deux simultanément, en fermant la cuirasse avec la lampe, comme cela se pratique dans certaines mines anglaises.

COMMISSION ROYALE ANGLAISE

La Commission royale anglaise des accidents de mines a étudié avec le plus grand soin la question des lampes de sûreté, la considérant à juste titre comme l'un des points les plus importants de sa tâche. Pendant les sept années, 1879-1886, qu'ont duré ses travaux, elle a eu à examiner plus de 250 lampes, et ses expériences ont porté sur près des quatre cinquièmes de celles qui lui ont été soumises. Heureusement, dans cet encombrement d'appareils, beaucoup ne présentent que d'insignifiantes différences dans leurs dispositions, et on peut facilement les grouper autour de quelques types ayant une originalité et une valeur particulières.

La Commission anglaise a donc fait de très nombreuses et très sérieuses épreuves sur ces divers types de lampes de sûreté, soit dans le grisou naturel, à Garswood Hall et Llwynypia, soit dans le gaz d'éclairage à l'arsenal de Woolwich. Elle a eu de plus à sa disposition les résultats d'autres épreuves presque aussi importantes faites par la Commission du prix Ellis Lever, par le North of England Institute of mining and mechanical engineers, et par le Midland Institute of mining civil and mechanical engineers.

La conclusion de toutes ses recherches, en ce qui concerne les lampes de sûreté, a été posée en ces termes par la Commission, dans un très remarquable rapport daté du 15 mars 1886 :

« Il ressort de nos expériences qu'un grand nombre « de lampes, lorsqu'elles sont en parfait état, offrent « une sécurité presque complète, dans les courants qui « se produisent ordinairement dans les mines, même si « l'atmosphère devient explosive.

« Plusieurs ont résisté à des courants de 3.000 pieds « par minute, au moins pendant un certain temps; mais, « avec cette vitesse, la sécurité de certaines lampes « est très précaire; la moindre détérioration de la « lampe, comme il peut s'en produire par la combus- « tion prolongée du gaz à l'intérieur ou par l'usure, « peut provoquer une explosion. Des courants de 3.000 « pieds de vitesse par minute ne se produisent dans les « mines que dans des circonstances exceptionnelles, « par exemple lorsqu'un courant d'air général passe « par une section réduite, ou lorsqu'une mine débourre, « ou encore lorsque le toit s'affaisse sur une grande « surface. Dans les deux premiers cas, la prudence la « plus ordinaire empêchera de placer la lampe dans « une position dangereuse; dans le dernier cas, le cou- « rant est de très peu de durée.

« Nous croyons donc pouvoir affirmer qu'il existe « aujourd'hui des lampes, qui, préparées avec soin et « employées avec prudence, donnent la sécurité dans « toutes les circonstances qui peuvent se présenter « dans l'exploitation des mines. Un grand nombre de « lampes plus sûres ne peuvent être employées régu- « lièrement pour l'une ou plusieurs des raisons sui- « vantes : leur pouvoir éclairant est très faible; elles « réclament de grands soins dans leur maniement pour « ne pas s'éteindre; elles sont trop sensibles à l'action « des courants obliques; ou bien encore elles sont si « compliquées qu'elles présentent des difficultés d'as- « semblage après allumage.

« On voit, par cette discussion détaillée des mérites « des différentes lampes, que plusieurs réunissent à « un haut degré d'autres propriétés avantageuses.

« Il faut spécialement citer parmi celles-ci les lam- « pes Hann, Morgan, Purdy et Soar. Mais il existe « quatre lampes dans lesquelles la qualité d'être sûre

« est jointe à la simplicité de la construction, et dans « lesquelles le pouvoir éclairant est au moins égal à « celui des lampes généralement employées jusqu'ici.

« Ce sont les lampes Gray, Marsaut, le dernier mo- « dèle proposé par Evan Thomas et la lampe Mueseler « cuirassée.

« Pour les trois premières, il est peu probable que « la flamme s'éteigne dans les circonstances ordinaires « de leur emploi, mais pour la Mueseler cuirassée — « comme du reste toutes les Mueseler — il faut se « garder de la faire dévier considérablement de la po- « sition verticale.

« Le tableau suivant résume les principales propriété- « tés de ces lampes.

LAMPES	Poids sans huile — Livres	Pouvoir éclairant en bougies types	Vitesse du courant explosif pendant l'expérience — En pieds par minute	Durée de l'expérience dans le mélange explosif — Minutes
Marsaut triple toile	2.75 (3)	0.4 à 0.5	3.100	2
» double toile	2.75	0.6 à 0.7	2.100	1
» double (1)..	»	»	800	15
» double (2)..	»	»	2.650	5
Mueseler cuirassée.	»	0.3 à 0.4	2.850	(2)
» cuirassée (3)	»	»	2.650	1
Gray	»	»	3.100	1
Gray	»	»	2.857	1 m. 40 s.
Evan Thomas	3.25	0.4 à 0.5	3.300	7 m. 40 s.

(1) Expériences du concours Ellis Lever.

(2) Dans un courant explosif animé de cette grande vitesse, le gaz continue quelquefois à brûler sous le diaphragme de toile métallique, mais, en général, il s'éteint après quelques secondes.

(3) Les poids de ces lampes sont à peu près les mêmes. Ceux

Voir, Pl. XVIII, Fig. 6, 7, 8 et 9, les croquis des quatre lampes, mises en évidence par la Commission anglaise.

La lampe Gray ne paraît pas s'être répandue encore dans les mines, sans doute à cause de son faible pouvoir éclairant. La hauteur du verre et la surface relativement faible du treillis métallique qui le surmonte la rendraient certainement dangereuse si elle pouvait se remplir un peu rapidement de mélange détonant; mais elle semble suffisamment garantie contre cette éventualité par la gêne apportée à l'alimentation d'air. Il faut aussi remarquer que les toiles métalliques situées à l'entrée de l'air sont susceptibles d'être facilement encrassées par l'huile de la lampe, par la poussière et les débris qui se réunissent ordinairement au fond de la lampe, qu'enfin le grisou peut brûler indéfiniment dans le verre, ce qui ne laisserait pas de causer en certains cas une situation critique. D'autre part, la petite toile métallique du sommet peut s'obstruer par la suie, si la lampe devient fumeuse.

M. Evan Thomas a tout simplement produit à la Commission royale anglaise, sous son nom, la lampe Marsaut à un seul treillis, que j'avais soumise autrefois à la Commission française du grisou. Appliquant les principes préconisés dans l'Etude de la lampe de sûreté des mineurs que je lui avais communiquée, il a gêné davantage encore l'entrée de l'air et la sortie des gaz brûlés, pour obtenir une plus grande résistance contre les courants grisouteux rapides. L'effet de ces dispositions était certain d'avance, mais a pour contrepartie inévitable l'affaiblissement du pouvoir éclairant. — Faut-il sacrifier un tiers de ce pouvoir éclairant, si nécessaire d'autre part à la sécurité des tra-

---

des différents types d'une même lampe diffèrent de moins de deux onces.

vaux, à la crainte de rencontrer dans la mine des courants inflammables dépassant 11 à 12 mètres de vitesse par seconde ? C'est au moins fort contestable, surtout si on considère que les vitesses spécifiées par la Commission anglaise correspondent en réalité à des vitesses doubles pour les lampes à cuirasse, par suite des conditions dans lesquelles les expériences ont été faites.

La suppression du deuxième tamis ne paraît guère plus heureuse, car il est clair qu'on aura toujours plus de garantie avec deux tamis qu'avec un seul sous tous les rapports. Néanmoins, la Commission royale anglaise, en recommandant spécialement les quatre lampes ci-dessus, par la raison qu'elles unissent à une haute sécurité un grand pouvoir éclairant et une grande simplicité de construction, a cru devoir ajouter que la lampe Evan Thomas est celle qui a donné les meilleurs résultats dans ses expériences ; mais il ne paraît cependant pas que cette lampe soit entrée dans la pratique.

En ce qui concerne le type Mueseler, il est évident que la cuirasse Marsaut, qui ne change en rien ses dispositions essentielles, ne peut que lui procurer une grande résistance dans les courants obliques et tourbillonnants, au milieu desquels il se montre si absolument insuffisant.

C'est une solution que j'avais d'ailleurs indiquée ; toutefois, si cette adjonction est à la rigueur efficace pour le grisou, il faudrait se garder de la considérer comme tout à fait sûre pour le gaz d'éclairage. J'ai constaté maintes fois, en effet, que le type Mueseler correct, même cuirassé, propage quelquefois le feu à l'atmosphère ambiante, par l'explosion de ce gaz dans l'intérieur du verre.

Tout en recommandant spécialement quatre dispositions de lampes, la Commission a indiqué quelques améliorations à leur apporter dans le but de les rendre

plus sûres encore. Ce qui paraît l'avoir surtout préoccupée, ce sont des bris du verre qu'elle considère, d'après ses expériences, comme la principale source de danger de toutes les lampes. C'est ainsi qu'elle conseille de mettre à la Mueseler belge, immédiatement sous le diaphragme, un petit anneau métallique de un quart de pouce de hauteur contre le verre, pour protéger ce dernier de l'action du feu que les courants dépassant 3 mètres par seconde entretiennent dans le verre, et d'interposer dans la lampe Gray une collerette conique de métal écartant du bas du verre la flamme du gaz brûlant aux ouvertures d'entrée.

En ce qui concerne la lampe Marsaut, elle observe qu'à l'encontre de ce qui se passe dans toutes les lampes qui s'alimentent directement par en bas, le feu reste généralement éloigné du verre qui est, par suite, moins exposé à se détériorer ; mais en vue des courants extrêmes, la Commission inclinerait à supprimer les baies latérales de la base de la cuirasse, pour ne laisser entrer l'air que par les trous de l'anneau horizontal, et à obliger cet air à s'élever davantage avant de descendre dans la lampe en allongeant l'anneau plein de la base du tamis. Ce ne sont là que des modifications simples et faciles ; mais comme elles influenceraient certainement le pouvoir éclairant de la lampe, il faudrait voir, avant de les opérer, si les courants qui sont capables de mettre en péril le verre de la lampe Marsaut sont des courants réalisables dans les mines, ce qui n'est pas probable.

Relativement à la cuirasse, la Commission anglaise reproduit l'objection qui a été faite en France, qu'elle ne permet pas de contrôler la présence des tamis, de voir leur état lorsque le gaz brûle dans le haut de la lampe, et elle conseille pour parer à ces difficultés de petites fenêtres de mica dans cette cuirasse.

Ces fenêtres sont-elles vraiment bien utiles ? Si par des expériences suffisamment rigoureuses, on s'est préalablement assuré que rien d'anormal, qu'aucun échauffement dangereux ne peut se produire sous une cuirasse, quel besoin y a-t-il de voir dans l'intérieur ? S'il y a peu de grisou, la lampe s'échauffe, la flamme s'allonge, vacille, et il n'est pas possible, avec l'attention la plus vulgaire, d'ignorer l'état spécial de l'atmosphère. S'il y a beaucoup de grisou, la flamme de la lampe s'éteint, et pour les cas exceptionnels où le gaz continuerait à brûler dans le tamis intérieur, une lueur réfléchie dans le verre l'indique de la manière la plus claire. La moindre obturation des ouvertures d'entrée ou même le plus léger mouvement imprimé à la lampe suffisent pour tout éteindre. On est donc toujours prévenu, ce qui est l'essentiel et paraît suffisant.

La Commission anglaise dit encore qu'on pourrait utilement ajouter aux quatre lampes désignées comme les plus pratiques un dispositif simple, permettant d'étouffer le feu dans la lampe au cas où il s'y maintiendrait. C'est ce que j'avais proposé tout d'abord, au début de mes recherches ; mais cela ne paraît pas jusqu'ici indispensable.

Malgré toutes les objections faites à la cuirasse, il est curieux de voir que toutes les lampes signalées comme les plus sûres par la Commission anglaise et en particulier les huit d'entr'elles désignées nominativement au Rapport officiel, même la Mueseler, type belge, sont toutes munies de cet organe. Il faut donc que la cuirasse ait du bon. Depuis que j'ai présenté une disposition rationnelle de cet organe, il s'est montré en Angleterre particulièrement, et ailleurs, une foule de dispositions, la plupart fort compliquées pour atteindre le même but, en exagérant les obstacles, les précautions contre des courants extraordinaires et presque chimé-

riques au détriment de la simplicité de l'appareil et du pouvoir éclairant. Mais la pratique corrige toujours les excès inutiles, et de toutes les lampes présentées, il n'y a guère que la lampe Marsaut qui subsiste. On la voit, en effet, depuis quelques années, remplacer toutes les anciennes lampes dans presque toutes les mines anglaises, tandis que les lampes trop compliquées, quoique sûres, sont délaissées. C'est qu'étant admis qu'on ne saurait sérieusement craindre dans les mines des courants grisouteux de plus de 20 mètres par seconde, la lampe Marsaut répond pratiquement aux deux conditions auxquelles, suivant la Commission anglaise, doivent satisfaire les lampes de sûreté pour être réellement efficaces, savoir :

« 1° La source de lumière ne doit, dans aucune cir-
« constance, pouvoir causer l'inflammation d'un mé-
« lange de grisou et d'air, même dans des courants de
« grande vitesse ;

« 2° La lampe doit donner, pendant toute la durée
« d'une journée de travail, un éclat suffisant et une
« lumière fixe, même quand elle est exposée à un fort
« courant d'air. »

Elle a d'ailleurs été classée au premier rang sur 108 lampes présentées au concours Ellis Lever, mais sans obtenir néanmoins la prime de 12.500 francs promise.

Note explicative. — La Commission anglaise a déclaré que la lampe Marsaut à deux treillis reste lampe de sûreté dans les courants inflammables de 2.000 pieds par minute, n'ayant pu en faire sortir le feu qu'à des vitesses notablement supérieures.

Mais les calculs de cette Commission sont sujets à interprétation.

Les vitesses d'expériences ont été réalisées jusqu'à

1.600 pieds par minute dans un conduit dont la section intérieure était de $0^m,35$ sur $0^m,25$ et au-delà dans un passage réduit n'ayant plus que $0^m,254$ de hauteur sur $0^m,117$ de largeur.

La Commission a pris le soin de faire observer que l'introduction d'une lampe dans le conduit d'épreuves avait pour effet d'augmenter de beaucoup, dans certains cas, la vitesse du courant à la section obstruée autour de la lampe, mais que les vitesses par elle rapportées étaient prises dans la section totale du conduit en avant et en arrière de la lampe. Cela posé, calculons la vitesse sur la lampe Marsaut correspondant à la vitesse de 2.000 pieds dans le conduit réduit.

On a :

Section libre du conduit réduit.....	$297c^2$
Section pleine de la lampe Marsaut. .	$155c^2$

Par différence :

Section de passage autour de la lampe.	$142c^2$

Donc la vitesse sur la lampe est sensiblement de :

$$\frac{2.000 \times 297}{142} = 4.200 \text{ pieds par minute.}$$

Ce qui correspond à $21^m,35$ par seconde, c'est-à-dire plus du double des vitesses envisagées par la Commission anglaise.

COMMISSION PRUSSIENNE

La Commission prussienne instituée en octobre 1880 a chargé une Sous-Commission, prise dans son sein, de la question des lampes de sûreté. Un rapport officiel embrassant non seulement les résultats des travaux particuliers de la Sous-Commission au laboratoire de Bochum et à la mine Bonifacius, mais encore ceux des Commissions étrangères et des spécialistes qui se sont

occupés de la question des lampes, a été établi et publié en 1886. Il pose un certain nombre de principes sur l'emploi et la construction des lampes de sûreté, principes reconnus vrais, disent les expérimentateurs, tant par la pratique que par les essais.

Les travaux de la Sous-Commission ont eu principalement pour but :

1° De rechercher l'influence des dimensions de la partie de l'intérieur d'une lampe, limitée par le verre, ainsi que l'influence de l'étendue et de la structure du tamis, contre l'explosion interne dans les milieux en repos ;

2° D'établir la résistance relative des différents types de lampes contre l'explosion interne ;

3° De constater l'effet des courants gazeux sur les lampes.

Les expériences sur l'explosion interne, faites parallèlement avec le gaz d'éclairage et le grisou, ont confirmé de tous points les influences des dimensions ou des dispositions des divers organes des lampes, telles que je les avais relatées dans mon Etude sur la lampe de sûreté des mineurs. Les expériences spéciales sur le grisou ont une fois de plus indiqué la différence d'énergie des explosions de ce gaz dans la lampe avec celles du gaz d'éclairage.

Tandis que toutes les lampes éprouvées, sauf la lampe Marsaut avec deux toiles de 139 mailles au centimètre carré et fils de 0,36 de millimètre de diamètre, donnaient presque à tout coup l'explosion extérieure dans le gaz d'éclairage avec l'allumage électrique, la simple lampe Boty placée dans le grisou n'a plus laissé passer le feu de l'explosion interne dès que son tamis est arrivé à 5 centimètres de hauteur.

Partant de là, la Commission a conseillé aux mineurs

allemands d'adopter la lampe Boty, qu'elle a appelée lampe *normale*,et qu'elle considère comme offrant toute sécurité contre les explosions internes dans les mines grisouteuses.

Voir le croquis et les dimensions de la lampe normale prussienne, Pl. XVIII, Fig. 10 et 11.

La Commission admet naturellement que la lampe modèle sera toujours en parfait état, que le tamis n'aura jamais la moindre avarie, en sortant de la lampisterie, ni n'en recevra aucune au cours du travail dans le maniement forcément brutal auquel la lampe est soumise; que ses épreuves sont suffisamment nombreuses ; que tous les grisous se comporteront comme celui du soufflard de la mine Bonifacius qui a servi à ses expériences ou comme le formène du laboratoire ; que les effets des mélanges détonants plus denses dans les mines profondes seront les mêmes qu'au jour; enfin qu'à l'action de l'explosion interne ne se superposera jamais la moindre action mécanique accessoire : mouvement de la lampe,pression plus ou moins forte de l'air extérieur, toutes choses qui sont loin d'être certaines.

La lampe normale déterminée, la Sous-Commission a voulu se rendre compte des effets possibles des courants gazeux sur cette lampe et sur d'autres. Elle a encore employé successivement le gaz d'éclairage et le grisou du soufflard de la mine Bonifacius, mais elle a opéré d'une manière toute spéciale, en lançant le gaz sur les lampes par une baie de 1 centimètre ou 1/2 centimètre carré de section, c'est-à-dire réalisant une sorte de jet de chalumeau. Ce ne sont pas là, assurément, les conditions dans lesquelles la pratique met les lampes de sûreté, et il ne peut guère résulter de pareilles expériences que des enseignements sur la différence des phénomènes présentés par le gaz d'éclairage et le grisou.

Cependant la Commission a pu se convaincre qu'un mince courant gazeux de cette espèce était très dangereux, et qu'il faisait passer la flamme hors de la lampe avec une facilité relativement grande.

Les lampes à cuirasse ne pouvaient évidemment être soumises à l'action d'un tel courant. Néanmoins, soit par ses propres expériences, soit à l'aide de celles des Commissions étrangères et, notamment, de la Commission anglaise, la Commission prussienne s'est fait une opinion sur la manière dont la lampe Boty normale se comporterait, si elle était exposée aux courants grisouteux *de la pratique*, et voici comment elle s'exprime à cet égard :

« Soit dans les chantiers, soit en s'y rendant, l'ouvrier « devra manier sa lampe avec une *attention conti-* « *nuelle* et une *grande prudence*.

« Bien que les essais sur le grisou naturel ne soient « pas encore complètement terminés, on peut admettre « comme sûrement établi qu'une lampe Davy et une « lampe de Saarbrück procurent une sécurité absolue « contre l'explosion interne, dans les milieux en repos « ou modérément agités, même les plus explosibles ; « que, par conséquent, dans les *circonstances ordinai-* « *res de la pratique*, une explosion extérieure ne peut « pas se produire.

« Il faut bien remarquer que les mouvements rapides « et brusques doivent être évités dans tous les cas, et « qu'il est très dangereux d'introduire la lampe *simple* « dans les courants d'explosibilité maximum fortement « agités, parce qu'alors un passage de la flamme serait « à craindre.

« Jusqu'à la vitesse de 2 mètres par seconde, qui est « le maximum de vitesse que nous ayons observé dans « les chantiers en remontée, derrière les cloisons

« d'aérage (1), de *bonnes lampes* de Saarbrück résis-
« teront.

« Mais, ce qui est dangereux au plus haut degré,
« c'est d'exposer les lampes à des soufflards de grisou
« ou à des orifices de tuyaux où règnent de grandes
« vitesses.

« Dans les retours d'air où règnent de grandes vites-
« ses, dans les puits de sortie, dans les galeries abou-
« tissant aux ventilateurs, l'air ne possède généraleme-
« ment plus de propriétés explosives, par suite du
« mélange intime qui s'est opéré entre l'air et le grisou.
« Mais, comme les exemples ne sont pas rares où l'on
« a vu du grisou cheminer parallèlement à des cou-
« rants de grande vitesse sans se mélanger à l'air, la
« prudence exige d'employer, dans ces cas, les lampes
« à *double tamis et à cuirasse*, qui ont en outre l'avan-
« tage de ne pas s'éteindre trop facilement et d'être
« mieux protégées contre les dégradations. Et préci-
« sément dans les endroits en question ces deux der-
« niers points ont de l'importance. »

Il est difficile de comprendre, après de telles réflexions, comment la Commission prussienne, au courant de toutes les expériences des Commissions étrangères, a pu conseiller l'emploi de la lampe Boty dans les mines grisouteuses. La Commission prussienne ayant admis dans son sein des intéressés, il y a eu en jeu, sans doute, une question d'économie, la conservation du matériel en service. Ce qui tendrait à le prouver, c'est qu'on a aussi admis l'usage de la benzine dans les lampes, en en faisant ressortir les avantages

(1) La Sous-Commission n'a observé qu'une vitesse de 2 mètres dans les chantiers eux-mêmes et non dans les retours d'air où la vitesse est généralement très grande.

économiques relativement à l'huile de colza (1). Il est vrai que la benzine se prêtait aussi au rallumage par percussion sur amorces fulminantes (système Wolf) sans ouvrir la lampe, ce qui était alors considéré comme un sérieux avantage pratique.

Mais le docteur Schondorff a montré depuis, dans un mémoire daté du 8 juin 1887, combien l'emploi de la benzine et le rallumage par percussion de Wolf étaient dangereux, et il n'est pas douteux que ses idées ne soient bientôt partagées par la plupart des mineurs de Prusse, ce qui amènera certainement l'abandon et du système Wolf et de la benzine dans les mines allemandes.

Il en sera sans doute de même, dans un avenir prochain, de la lampe normale, et la lampe Marsaut, recommandée par la Commission prussienne seulement pour les circonstances exceptionnelles qui se présentent dans les mines, ou toute autre lampe plus sûre que la Boty, s'imposera même dans les conditions habituelles.

Les exploitations de la Westphalie sont encore jeunes, en général peu profondes, et par suite peu grisouteuses; cela changera comme dans les autres bassins et les difficultés arriveront fatalement. Les accidents et les déceptions surviendront et l'expérience, que chacun acquiert à ses dépens, amènera sûrement les mineurs allemands à des précautions plus minutieuses et à l'emploi de moyens plus efficaces.

On ne peut qu'être surpris de voir la quiétude de la Commission prussienne à l'égard des courants inflam-

---

(1) On a calculé que l'économie résultant de l'emploi de la benzine aux lieu et place de l'huile de colza dépassait 50 p. °/₀, et que pour le bassin de Westphalie seulement l'économie annuelle totale serait de 575.000 marks.

mables ordinaires, lorsque la Commission anglaise s'est montrée si préoccupée des courants excessifs.

COMMISSION SAXONNE

Une Sous-Commission, formée dans la Commission saxonne du grisou, s'est occupée de l'étude des lampes de sûreté connues, et une notice des Conseillers royaux des mines, Kreischer et Winkler de Freiberg, « *Recherches sur les lampes de sûreté* », publiée dans le « Sachsischen Jahrbuche » de 1884 donne les résultats de ses travaux.

Il en est résulté surtout une réglementation pour les mines à grisou de Saxe, mais rien de bien nouveau au sujet des lampes.

La lampe Wolf à la benzine, simple Boty à un treillis, alimentée par le bas, paraît prévaloir dans ce pays. Elle éclaire mieux ; on peut la rallumer au moyen d'un appareil à percussion avec amorces fulminantes, sans l'ouvrir ; enfin, elle est très économique. Dans cette lampe, à cause de l'alimentation par la base, le feu follet de gaz ne se produirait pas dans le tamis.

Cependant, il semble que la confiance en la sécurité d'une telle lampe s'est depuis modifiée, car Wolf a mis quelquefois deux tamis à sa lampe ; il l'a même présentée revêtue de la cuirasse de la lampe Marsaut à l'Exposition récente des Inventions à Londres.

Il est probable que, comme en Prusse, on en arrivera aussi à écarter l'alimentation par le bas de la lampe, la benzine comme matière éclairante, et le rallumeur Wolf, malgré les avantages spéciaux qu'on attribue à ces divers moyens.

COMMISSION AUTRICHIENNE

La Commission autrichienne du grisou n'a été instituée qu'en 1885 ; comme les autres, elle a chargé une

Sous-Commission d'étudier les lampes de sûreté. Il faut en attendre les conclusions, mais il est douteux que le Rapport signale des faits nouveaux, tant la question a été approfondie ailleurs.

Déjà, dans ce pays, M. Johann Mayer, ingénieur en chef des Mines de la Compagnie du chemin de fer du Nord, a effectué d'importantes et intéressantes expériences sur les lampes de sûreté employées dans le bassin d'Ostrau-Karwin (1). Elles ont confirmé d'ailleurs tout ce qui a été reconnu en France, en Angleterre et en Allemagne sur l'influence des divers éléments des lampes de sûreté. Néanmoins, on constate encore de ce côté un certain engouement pour l'emploi de la benzine, qui réduirait de deux et demi à trois fois la dépense d'huile ; pour l'admission de l'air par en bas, et le rallumeur à percussion ; mais on penche aussi très fortement vers la double protection, et même vers la cuirasse.

CONCLUSIONS PRATIQUES

L'analyse des travaux et des conclusions des Commissions officielles et les choix de types de lampes faits dans ces dernières années par les exploitants de mines grisouteuses montrent que jusqu'ici, parmi tant d'appareils proposés, deux seulement, ceux qu'avait recommandés la Commission française, la Mueseler belge et la lampe Marsaut, paraissent devoir se maintenir résolument dans la pratique. Le champ reste d'ailleurs ouvert aux inventeurs, puisqu'à peu près partout les Commissions ont rejeté l'idée d'imposer un type déterminé pour ne pas entraver le progrès.

La liberté du choix de la lampe laissée aux exploi-

---

(1) Separatabdruck aus der « *Oesterreichischen Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen* ». XXXII. Jahrg., 1884.

tants leur commande donc d'examiner de très près ces appareils avant de prendre une détermination.

Les principaux points faibles du type Mueseler sont bien connus maintenant; tout le monde admet que cette lampe est impuissante à prévenir l'explosion extérieure dans les courants grisouteux obliques ou tourbillonnants, dans les courants violents horizontaux inflammables, de composition irrégulière, qu'on peut rencontrer dans les mines. Chacun sait sa sensibilité à l'extinction lorsqu'on la penche et la difficulté qui en résulte d'examiner dans certains cas l'état de solidité des travaux, la gêne, le dérangement que cause le rallumage des lampes éteintes, surtout lorsque les chantiers sont éparpillés, et dans les mines étendues. Ce dernier inconvénient va encore s'aggraver par l'application des fermetures *absolues* que la statistique des accidents paraît montrer nécessaires, ce qui entraînera la suppression de la plupart des nombreuses stations de rallumage à peu près indispensables dans certaines mines, particulièrement avec le type Mueseler.

Toutes ces choses sont naturellement à peser et à considérer lorsqu'il s'agit de choisir une lampe pour une mine grisouteuse.

A la lampe Marsaut, on a opposé des objections qui n'ont pas, ce me semble, la gravité ni l'importance des défauts de la Mueseler. On reconnaît que, tout en donnant environ un tiers de plus de lumière que cette dernière, la lampe Marsaut peut être penchée sans s'éteindre dans la mesure utile pour la vérification des travaux. Ce sont là deux points de la plus haute importance, car une bonne lumière et l'examen plus complet du toit des chantiers sont de nature à prévenir de très nombreux accidents de détail qui, réunis, peuvent donner autant de victimes que le grisou.

Mais quelques-uns objectent que la cuirasse cache les tamis, que le lampiste peut oublier de les placer dans la lampe, que l'ouvrier peut commettre l'imprudence grossière de porter dans la mine une lampe sans tamis, qu'enfin on ne peut pas voir si les tamis rougissent dans une atmosphère grisouteuse.

Pour tourner la première objection, certaines mines distribuent à l'ouvrier la lampe et la cuirasse à part, en vue de forcer son attention. On pourrait encore, si on craint de la part des lampistes de pareilles étourderies, instituer un contrôle spécial, doublant l'examen de l'ouvrier, à la sortie des lampes.

Quant à l'objection des tamis rouges cachés, elle ne peut venir que de personnes ne se rendant pas bien compte de la disposition de la lampe Marsaut.

Lorsque le gaz afflue abondamment et directement sur le tamis d'une lampe Davy ou Boty et qu'il continue à brûler dans l'intérieur, ce tamis peut bien dans certains cas rougir plus ou moins, mais cette circonstance n'est pas réalisable avec la lampe Marsaut, ou tout au moins je n'ai jamais pu la reproduire. La cuirasse et les deux tamis séparés s'y opposent. Il est évident qu'on peut toujours restreindre les ouvertures d'entrée d'air dans la cuirasse et la sortie des fumées, pour n'admettre sur la lampe qu'une quantité d'air ou de gaz inflammable insuffisante pour échauffer les tamis au-delà d'une limite assurant toute sécurité. Tout le problème est là d'ailleurs : ouvrir la cuirasse assez pour obtenir le pouvoir éclairant maximum sans atteindre la limite qui deviendrait dangereuse. Le mélange gazeux ainsi réglé par la cuirasse arrive dans la lampe, non pas perpendiculairement, mais parallèlement aux tamis ; le tamis extérieur modère encore l'affluence du gaz inflammable sur le tamis intérieur. Dans ces conditions, ce dernier ne rougit pas, même dans les mé-

langes dosés pour le maximum d'explosibilité. Le tamis extérieur éloigné du feu reste *a fortiori* indemne et forme ainsi une tranquillisante protection de réserve. Telle est, sans doute, l'explication de la résistance exceptionnelle offerte par cette disposition de lampe aux épreuves si nombreuses et si rudes que les Commissions officielles et autres lui ont fait subir. Les Anglais seuls ont pu la mettre en défaut, mais seulement sous l'action de courants explosifs de vitesse excessive (plus de 25 mètres par seconde) et on peut dire chimériques dans les mines. Dans ce cas, la pression sur les ouvertures d'entrée d'air augmente, l'affluence du gaz devient trop considérable, et le seul remède pour parer à des circonstances de cet ordre, s'il y avait lieu de compter avec elles, serait dans le rétrécissement des ouvertures de la cuirasse, ou dans l'adjonction d'un troisième tamis à la lampe. La Commission anglaise et le Comité du prix Ellis Lever ont, en effet, constaté que la lampe, ainsi modifiée, ne pouvait plus être mise en défaut dans des courants gazeux quelconques.

En l'état, et jusqu'à preuve contraire, il est donc permis d'admettre que la lampe Marsaut est capable de résister dans toutes les circonstances critiques qui peuvent se rencontrer dans la pratique des mines.

Dans un autre ordre d'idées, on a aussi dit que la lampe Marsaut s'éteint beaucoup plutôt que la Mueseler dans le mauvais air. L'inconvénient vient sans doute de l'absence de la cheminée ; s'il existe réellement, il a au moins un bon côté, celui de porter à aérer mieux les mines à grisou, ce qui paraît du reste fort sage.

Enfin, on a observé que la lampe Marsaut s'échauffe davantage que la lampe Mueseler, soit dans l'atmosphère ordinaire, soit dans les milieux grisouteux. C'est là un caractère commun à toutes les lampes cuirassées,

mais qui n'a aucune importance fâcheuse dans la pratique, si la matière éclairante n'est pas susceptible de se volatiliser facilement. Ce serait plutôt un avantage dans les mines à grisou, parce que l'excès de chaleur permet au simple toucher de reconnaître la présence du gaz avant même que la flamme de la lampe le décèle.

L'Administration française ayant fait tout récemment une enquête sur les accidents de grisou dus aux lampes de sûreté, j'ai eu à relever et à revoir tous les accidents de ce genre survenus aux mines de Bessèges depuis l'origine de l'exploitation. Cette statistique générale ne peut manquer d'être intéressante et de fournir des enseignements précieux, au point de vue des lampes, à l'Administration aussi bien qu'aux exploitants, si j'en juge par les faits observés à Bessèges.

Ainsi, de 1846 à 1888, on a constaté dans les mines de la Compagnie houillère de Bessèges douze explosions ou inflammations de grisou.

Trois sont dues à des lampes à feu nu et peuvent être écartées, au point de vue spécial que nous considérons : ce sont les surprises du début, comme il s'en produit dans presque toutes les exploitations neuves. Le grisou ne se rencontre que graduellement et les lampes de sûreté arrivent toujours trop tard.

Des neuf accidents causés par les lampes de sûreté, il faut encore en mettre à part quatre qui sont le fait de fautes lourdes et de maladresses commises par les victimes, et desquels on ne peut tirer aucun enseignement utile, si ce n'est pour l'un d'eux qu'une fermeture plus efficace de la lampe Mueseler eût peut-être évité.

Voici, d'ailleurs, les circonstances sommaires de ces quatre cas :

1° Allumette enflammée pour rallumer une lampe ;
2° Mueseler ouverte ;

3° Introduction dans le grisou d'une lampe Mueseler ayant son verre détruit ;

4° Verre de Mueseler cassé par un coup de pic.

Il reste donc seulement cinq accidents à considérer, et dont voici les circonstances plus détaillées :

1° Explosion de grisou le 22 juillet 1861 :

Flamme chassée hors du tamis d'une lampe Davy-Dubrulle par un courant d'air grisouteux. Un chef de poste avait fait verser une benne d'eau dans le puits d'extraction, afin d'accélérer le courant d'air, pour évacuer une accumulation de grisou dans un chantier ;

2° Inflammation de grisou le 29 octobre 1868 :

Tamis de lampe Davy-Dubrulle percé par un pic ;

3° Inflammation de grisou le 2 février 1873 :

Tamis de lampe Davy-Dubrulle arraché de sa virole dans le travail ;

4° Inflammation de grisou le 17 décembre 1878 à Bessèges :

Courant tourbillonnant sur une lampe Mueseler belge, type correct et en parfait état. Un ouvrier, en dissipant avec sa veste une légère accumulation de grisou au sommet de son chantier, la lampe étant suspendue à un piquet et à quelque distance, provoqua l'inflammation du gaz. L'accident a été constaté et la lampe minutieusement contrôlée sur place par M. de Castelnau, alors ingénieur des mines à Alais ;

5° Inflammation de grisou le 15 mai 1884 à Molières :

Tamis de lampe Mueseler, type belge, percé par un pic. L'ouvrier souscavait une motte de charbon dans une grande taille. Surpris par la chute prématurée du

bloc, l'ouvrier, en reculant, crève le tamis de la lampe avec son pic, tout en la renversant; une sortie de grisou exceptionnelle, chassée sur la lampe couchée par le bloc de charbon en tombant, détermine l'inflammation, par la cheminée sans doute.

L'enseignement pratique à tirer de ces faits est on ne peut plus clair. Trois accidents sur cinq à Bessèges sont dus à la lampe Davy, et deux sur cinq à la lampe Mueseler type belge, et il est incontestable que les cinq accidents auraient été tous évités par l'emploi d'une lampe cuirassée. Donc, sur neuf accidents de lampe de sûreté, à Bessèges, depuis l'origine de l'exploitation, la cuirasse en eût évité cinq, soit plus de 50 p. °/₀.

Je ne connais pas la statistique générale ; mais, malgré les objections, je crois avoir rendu quelques services aux mineurs et à l'industrie des mines, en déterminant, par mon Etude sur les lampes de sûreté, l'emploi sur une large échelle et dans un grand nombre de mines françaises et étrangères, des lampes cuirassées, et, d'autre part, en provoquant par mes expériences l'abandon salutaire de la grosse lampe Davy du Gard et de la cheminée bâtarde du type Mueseler dans certains bassins houillers français.

Il me reste à prier ceux de mes collègues qui emploient la lampe Marsaut de signaler tous ses défauts, afin de mettre chacun en garde contre des dangers qui auraient pu échapper jusqu'ici aux investigations.

Note sur l'échauffement de la lampe Marsaut, dans les mélanges de gaz d'éclairage et d'air sensiblement au repos.

En examinant, dans l'analyse que j'ai présentée des conclusions des Commissions officielles du grisou, l'objection faite, par quelques ingénieurs, à la lampe Marsaut, consistant en ce que la cuirasse pourrait

masquer, dans certains cas, un échauffement excessif des tamis, j'ai dit que la disposition de cette lampe paraissait incomprise et mal appréciée. J'ai complété depuis les expériences qui m'avaient porté à émettre cette opinion, et la présente note a pour objet de faire connaître les résultats de ces expériences.

Pour juger de l'influence de la teneur plus ou moins élevée en gaz d'éclairage d'un mélange d'air et de gaz sur l'échauffement d'une lampe, il suffit évidemment, les autres conditions de l'expérience restant rigoureusement les mêmes, de constater pour chacune des teneurs la température en un point de la lampe quelconque, mais toujours le même, lorsque celle-ci est parvenue au maximum d'échauffement. Le croquis (Fig. 12, Pl. XVIII) indique suffisamment le point du tamis extérieur, dont on a constamment observé la température dans les nouvelles expériences de Bessèges. Il a été choisi comme devant être un des plus chauds du tamis extérieur. Le croquis donne aussi les dimensions de la caisse parallélipipédique en bois qui contenait la lampe; ces dimensions pour un débit de 66 centilitres par seconde, maintenu régulièrement pendant les expériences, correspondent à une vitesse ascensionnelle d'environ $0^m,14$ par seconde du mélange autour de la lampe.

Cela posé, les courbes construites mettent en lumière plusieurs résultats très remarquables :

1° Le maximum d'échauffement est obtenu dans la lampe Marsaut au bout d'un intervalle de temps très restreint, 20 à 35 minutes au maximum ; il en résulte que les expériences prolongées pendant plusieurs heures, dont on a parlé dans ces derniers temps, ne présentent pas d'intérêt ;

2° Le tamis extérieur, même dans les mélanges

dosés pour le maximum d'explosibilité, reste à une température relativement basse, 280°, dans les conditions défavorables de la boîte fermée de Bessèges, qui élève certainement la température ;

3° Des lampes MARSAUT ayant été à diverses reprises maintenues pendant plusieurs heures dans des mélanges dosés pour le maximum d'explosibilité, l'hypothèse du passage de la flamme à travers les tamis dans une atmosphère grisouteuse au repos doit être absolument rejetée.

Il n'en est pas de même de la simple lampe CLANNY dont les flancs du tamis rougissent dans un milieu de gaz d'éclairage et d'air dès la proportion de 11 à 12 p. °/₀ de gaz. Le chapeau rougit même dès la teneur de 5 à 6 p. °/₀, ce qui, en passant, dénote la nécessité de le renforcer.

La cuirasse ordinaire de la lampe MARSAUT mise sur la CLANNY ne supprime pas cet état d'incandescence, mais l'atténue sensiblement. Pour le prévenir, il suffirait de restreindre les ouvertures d'entrée d'air, par exemple, comme je l'ai constaté, de fermer les baies latérales et de ne conserver que les petits trous verticaux de la base de la cuirasse.

Mais avec les deux tamis, même sans la cuirasse, on n'a plus cet échauffement excessif de la toile métallique ; c'est tout au plus si on peut, dans les mélanges les plus explosifs, conjecturer le rouge en quelques points du tamis intérieur. La cuirasse, en modérant l'arrivée du mélange gazeux dans la lampe, améliore encore la situation ; c'est ce qu'on constate expérimentalement.

Il reste donc établi que si la cuirasse contribue à l'emmagasinement de la chaleur dans les mélanges les moins riches en gaz, elle s'oppose au contraire à l'é-

chauffement excessif des lampes dans les conditions critiques des milieux les plus explosifs.

Un Membre. — Un des orateurs que nous avons eu le plaisir d'entendre sur la question de rallumage des lampes sans qu'on soit obligé de les ouvrir exprimait l'espoir qu'on pût trouver une substance solide qui remplirait ce but.

Je crois que cette substance existe : c'est l'amalgame de sodium qui n'a pas encore été employé à cet usage, mais qui est employé depuis un an pour faire de très jolis petits briquets. L'amalgame de sodium est contenu dans un petit cylindre dans lequel se trouve une aiguille avec une chaîne, on tire brusquement et on fait sortir l'aiguille qui contient assez d'amalgame de sodium pour enflammer la mèche.

J'ai tenu à signaler ce détail à ceux qui s'occupent de la question du rallumage des lampes pour qu'ils en fassent leur profit le cas échéant.

M. Fumat. — On a expliqué qu'il était essentiel que le tamis fût en bon état, neuf, pour résister. Ceci prouve une chose, c'est que les lampes ne sont pas suffisamment résistantes. Il faut que la lampe ait une plus grande résistance pour que même avec des fils altérés et rouillés la lampe dure. Il est donc nécessaire qu'on fasse des essais très sérieux pour voir s'il n'y a pas quelque système de lampe qui fonctionne bien avec des tamis un peu altérés.

M. le Président. — Messieurs, grâce aux différentes notes qui ont été présentées, la séance a été fort intéressante ; je suis heureux de le constater. Après l'excellent résumé de la question par M. Le Châtelier, les communications très étudiées de MM. Fumat, Roberty,

Brard et Marsaut ont éclairé bien des points obscurs. Je dois une mention toute particulière à l'étude si complète que M. Janet nous a faite sur l'importante question de la fermeture des lampes, et de leur rallumage intérieur.

On a attiré notre attention, Messieurs, sur bien des questions, d'abord sur l'altération des divers types de lampes. A cet égard-là, je ne puis assez dire que l'on doit s'attacher à rester dans les types mêmes des différents inventeurs des lampes qui sont prescrites par les règlements.

On vous a parlé de la détérioration des tissus ; c'est là une très grave question ; cette détérioration des tissus provient de causes multiples qu'on vous a indiquées ; elle se produit à la longue et il faut évidemment rejeter des tissus qui paraissent trop altérés.

M. Roberty nous a fait remarquer avec beaucoup de raison que le système trop primitif de flamber les toiles provoquait une détérioration rapide. J'attire aussi votre attention sur ce point.

Je suis persuadé, Messieurs, que la séance que nous avons eue aujourd'hui portera ses fruits ; si nous ne concluons pas immédiatement, nous serons certainement en état de conclure un peu plus tard. Je vous convie tous à faire des expériences ; mais aussi dans ces expériences j'insiste, comme l'a fait très bien remarquer M. Roberty, pour que toutes les circonstances soient bien notées, pour que les lampes soient parfaitement définies, que les dimensions des toiles soient bien notées et qu'on puisse en un mot voir où est le défaut de la cuirasse. J'estime que c'est là un point excessivement important sur lequel je ne saurais trop appuyer.

La séance est levée à quatre heures.

		1.
Verre.	b.	8 teur extrémité x extrémité
Cheminée.		
Chapeau en tissu métallique.		
Trou de mouchette.	/2	1/4
Diamètre du fil de fer		
Mailles des toiles métalliques au centimètre carré.		)
Diamètre des fils des z^les)		0,oriz^les)
		te.
Hauteur du porte-mèc		

b.)	44	
iz^les)	< 0,	
	m	
amètre intér		

N° 939.	N° 955.	N° 1009.
57 — 59	58 — 59	58
8,4 — 9,4	6,2 — 7,2	6,3 — 7,9
41 — 42 mi-hauteur 42 et 44 aux extrémités	46 47 b. 48 h.	44 45 b. 47 h.
61	61 1/2	61 1/2
9 1/2	9 1/2	9 — 9 1/2
28 — 28 1/2	29	29
24	24	24
92	92	91
26 1/2	27	26
5	4	4
19	19	18
47 — 50	49	50
110	111	111
15	15	16
»	4	3 1/2
»	»	»
»	»	»
»	2,2	2,2
168 (6/7)	196 (7/7)	144 (6/6)
196 (7/7)	168 (6/7)	144 (6/6)
168 (6/7)	144 (6/6)	144 (6/6)
1/4 de m/m dans un sens 1/3 dans l'autre (toile horizontale). mèche plate.	1/4 dans un sens. 1/3 dans l'autre (toile horizontale). mèche plate.	1/4 dans un sens, 1/3 dans l'autre (toile horizontale). mèche plate.
15 1/2	15	16
15 1/2	15 1/2	17 1/2

TABLEAU N° 2.

NUMÉRO des lampes.	ÉTAT DE LA TOILE horizontale.	ÉTAT DU TAMIS	Observations.
190	Bon état.	Bon état.	
149	Id.	Toile rouillée, élastique.	
12a	Bon état, un peu brûlée.	Bon état, un peu brûlé.	
12b	Fil brûlé, très cassant.		
390	Bon état.	Bon état.	
224	Id.	Id.	
252	Id.	Id.	
231	Mailles un peu irrégulières	Id.	
267	Bon état.	Id.	
165	Id.	Id.	
345	Un peu effilochée.	Id.	
491	Bon état.	Id.	
503	Id.	Id.	
1.137	Paraît oxydée, encore assez élastique.	N'a plus d'élasticité.	
1.631	Bon état.	Brûlé, assez élastique.	
1.966	Rouillée, assez élastique.	Brûlé, n'a plus d'élasticité	
3 (L)	Bon état.	Rouillé, élastique.	
45 (L)	Id.	Id.	
78 (L)	Id.	Id.	
2 (H)	Très bon état.	Très bon état.	
3 (H)	Id.	Id.	
1.182	Bon état.	Bon état.	
1.187	Id.	Id.	
1.191	Id.	Id.	
939	Id.	Non élastique.	
955	Id.	Rouillé, non élastique.	
1.009	Mailles irrégulières, assez élastique.	Assez élastique.	

TABLEAU N° 3.

NUMÉROS des lampes.	DIAMÈTRE en millimètres des fils des toiles horizontales.	NOMBRE de mailles par centim. carré.	RAPPORT du vide à la surface totale du tissu.	OUVERTURE des mailles en centièmes de millim. carré.	Observations.
Lampe-type	1/3	144 (6/6)	0,360	Maxim. : 25	
Lampe tolérée	1/4	225 (7,5/7,5)	0,390	Maxim. : 17	
12a	0,3	144 (6/6)	0,4096	28	
149	0,275	168 (6/7)	0,412	25	
190	Id.	168 (6/7)	0,412	25	
224	Id.	168 (6/7)	0,412	25	
252	Id.	168-180 (6/7-7,5)	0,403	23	
390	Id.	168 (6/7)	0,412	25	
12b	0,275	144 (6/6)	0,4489	31	
165	1/3	144 (6/6)	0,360	25	
231	1/3	132-144 (6/5,5-6)	0,370	27	
267	0,3	144 (6/6)	0,4096	28	
345	1/4	156 (6/6,5)	0,472	30	
491	1/4	168 (6/7)	0,455	27	
503	1/4	168 (6/7)	0,455	27	
1.137	1/4	196 (7/7)	0,4225	22	
1.631	1/4	196 (7/7)	0,4225	22	
1.966	1/4	196 (7/7)	0,4225	22	
Allemagne (Bonn)	0,37 — 0,42	»	0,33 maxim.	L'ouverture des mailles ne peut pas dépasser 1/4 de millim. carré.	
3 (L)	1/3	144 (6/6)	0,360	25	
45 (L)	0,3	Id.	0,4096	28	
78 (L)	1/3	Id.	0,360	25	
2 (H)	1/3	Id.	Id.	25	
3 (H)	1/3	Id.	Id.	25	
1.182	1/3	144 (6/6)	0,360	25	
	un sens | autre sens				
1.187	0,275 | 1/3	144 (6/6)	0,402	28	
1.191	1/3	144 (6/6)	0,360	25	
939	1/3 — 1/4	168 (6/7)	0,3926	23	
955	1/3 — 1/4	144 (6/6)	0,4228	29	
1.009	1/3 — 1/4	144 (6/6)	0,4228	29	

N° 16

26

19

15 1/

61 1/

7,87

TABLEAU N° 4.

NUMÉROS des lampes.	SURFACE découverte de la toile horizontale en cent. carrés.	PASSAGE libre de la toile horizontale en cent. carrés.	CAPACITÉ du verre en cent. cubes.	RAPPORT entre la capacité du verre et le passage libre.	OBSERVATIONS
12a	14,33	5,87	110,0	18,74	
149	14,33	5,90	103,5	17,54	
190	11,70	4,82	99,7	20,68	
224	12,82	5,28	99,1	18,77	
252	12,80	5,16	102,4	19,84	
390	12,09	4,98	98,6	19,80	
12b	»	»	»	»	On a repris la lampe.
165	15,05	5,42	115,9	21,20	
231	15,50	5,74	117,9	20,54	
267	14,05	6,16	115,0	18,67	
345	14,30	6,75	110,6	16,39	
491	14,29	6,50	108,6	16,71	
503	14,29	6,50	108,5	16,69	
1.137	11,05	4,67	94,2	20,17	
1.631	11,75	4,96	100,2	20,20	
1.966	11,05	4,67	92,7	19,85	
3 (L)	13,00	4,68	107,2	22,91	
45 (L)	14,12	5,78	108,3	18,74	
78 (L)	13,13	4,73	109,4	23,13	
2 (H)	15,05	5,42	115,9	21,38	
3 (H)	11,75	4,23	95,9	22,67	
1.182	13,19	4,74	94,8	20,00	
1.187	12,10	4,86	99,1	20,39	
1.191	12,82	4,61	92,3	20,02	
939	(Hiuma) 10,05	3,93	85,50	21,65	
955	13,94	5,89	105,53	17,92	
1.009	13,19	5,58	97,79	17,53	

TABLE

NUMÉRO de la LAMPE	HAUTEUR du PORTE-MÈCHE	DISTANCE entre le sommet du porte-mèche et le réservoir.	NOMBRE D'ÉPREUVES	SIMPLES EXPLOSIONS	SIMPLES PASSAGE de la flamme dans le chapeau
N° 3 (L)	0m,010	0m,012	186	185	1
Id.	0,025	0,030	37	8	28
Id.	0,020	0,022	134	101	33
Id.	0,015 — 0,016	0,0185	210	183	27
345	0,013	0,0155	58	53	5
	0,025	0,027	35	21	14
	0,020	0,022	18	17	1
	0,005	0,006	24	24	»
165	0,0135	0,0155	41	37	4
	0,025	0,028	30	16	14
	0,020	0,023	9	8	1
267	0,013	0,015	28	25	3
	0,025	0,028	18	12	6
	0,020	0,023	10	10	»
939	0,0155	0,0155	35	2	33
	0,011	0,011	13	3	10
	0,005	0,005	9	»	9
	0,020	0,021	5	»	5
	0,025	0,025	16	1	15
955	0,015	0,0155	36	36	»
	0,005	0,0055	9	9	»
	0,025	0,0255	44	37	7
	0,020	0,022	12	10	2
1182	0,0115	0,013	73	68	5
	0,025	0,026	21	16	4
	0,011	0,0125	9	9	»
	0,005	0,0065	21	21	»
1187	0,0115	0,0125	87	68	18
	0,025	0,026	9	4	5
	0,020	0,022	37	30	7
	0,011	0,012	21	21	»
	0,005	0,007	47	45	2
1009	0,016	0,0175	27	27	»
	0,025	0,026	22	14	8
	0,005	0,0065	13	13	»
1966	0,013	0,0140	102	19	81
	0,025	0,026	31	3	28
	0,005	0,006	3	»	3
1191	0,012	0,013	33	24	9
	0,025	0,027	15	11	4
	0,020	0,023	9	7	2

N° 6.

INFLAMMATIONS DU GAZ de la cloche.	PROPORTION P. CENT des simples passages.	PROPORTION P. CENT des inflammations extérieures.	PROPORTION P. CENT des passages et des inflammations extérieures.	DISTANCE de la base de la cheminée au sommet du porte-mèche en m/m.	OBSERVATIONS
»	0m,54	»	0m,54	22	
1	75,68	2,70	78,38	4	
»	24,63	»	24,63	12	
»	12,86	»	12,86	15 1/2	
»	8,62	»	8,62	17	
»	40,00	»	40,00	5 1/2	
»	5,56	»	5,56	10 1/2	
»	»	»	»	26 1/2	
»	9,76	»	9,76	19	
»	46,67	»	46,67	7 1/2	
»	11,11	»	11,11	11 1/2	
»	10,71	»	10,71	19	
»	33,33	»	33,33	6	
»	»	»	»	11	
»	94,29	»	94,29	19	
»	76,92	»	76,92	23 1/2	
»	100,00	»	100,00	29 1/2	
»	100,00	»	100,00	13 1/2	
»	93,75	»	93,75	9 1/2	
»	»	»	»	19	
»	»	»	»	29	
»	15,91	»	15,91	9	
»	16,67	»	16,67	12 1/2	
»	6,85	»	6,85	22	
1	19,05	4,76	23,81	9	
»	»	»	»	22 1/2	
»	»	»	»	28 1/2	
»	20,69	1,15	21,84	22 1/2	
»	55,56	»	55,56	9	
»	18,92	»	18,92	13	
»	»	»	»	23	
»	4,26	»	4,26	28	
»	»	»	»	18	
»	36,36	»	36,36	9 1/2	
»	»	»	»	29	
2	79,41	1,96	81,37	20 — 19	
»	90,32	»	90,32	8 — 9	
»	100,00	»	100,00	28 — 27	
»	28,27	»	27,27	22	
»	26,67	»	26,67	8	
»	22,22	»	22,22	12	

TABLEAU

NUMÉRO de la LAMPE	HAUTEUR du PORTE-MÈCHE	DISTANCE entre le sommet du porte-mèche et le réservoir	ANNEAU EN LIÈGE		NOMBRE D'ÉPREUVES	SIMPLES EXPLOSIONS
			Hauteur.	Diamètre extérieur. Diamètre intérieur.		
3 (L)	0m,010	0m,012	»	»	186	185
			0m,025		3	3
			0,020		3	3
			0,016—0,017		15	15
3 (L)	0,025	0,030	»	»	37	8
			0,025		29	7
3 (L)	0,020	0,022	»	»	134	101
			0,025		32	32
			0,020		66	54
			0,016—0,017		12	11
			0,011		18	4
			0,007		11	2
3 (L)	0,015—0,016	0,0185	»	»	210	183
			0,025		96	92
			0,020		30	29
			0,016—0,017		142	128
			0,011		12	11
345	0,025	0,027	»	»	35	21
			0,025		9	8
			0,011		15	14
			0,007		12	10
267	0,020	0,023	»	»	10	10
			0,020		9	9
939	0,0155	0,0155	»	»	35	2
			0,026	diam. intérr 0,036 diam. extr 0,044	8	1
939	0,005	0,005	»	»	9	»
			0,026	diam. extr 0,044 diam. intérr 0,036	8	3
955	0,025	0,0255	»	»	44	37
			0,025	diam. extr 0,047 diam. intérr 0,05	12	11
1182	0,0115	0,013	»	»	73	68
			0,020		12	12
1187	0,0115	0,0125	»	»	87	68
			0,025		12	12

N° 7.

SIMPLES PASSAGES de la flamme dans le chapeau.	INFLAMMATIONS DU GAZ de la cloche.	PROPORTION P. CENT des simples passages.	PROPORTION P. CENT des inflammations extérieures.	PROPORTION P. CENT des passages et des inflammations extérieures.	OBSERVATIONS
1	»	0m,54	»	0m,54	Deux extinctions et une très faible explosion.
»	»	»	»	»	
»	»	»	»	»	
»	»	»	»	»	
28	1	75,68	2,70	78,38	
22	»	75,86	»	75,86	
33	»	24,63	»	24,63	Explosions relativement faibles.
»	»	»	»	»	
12	»	18,18	»	18,18	
1	»	8,33	»	8,33	
8	»	44,44	»	44,44	
9	»	81,82	»	81,82	
27	»	12,86	»	12,86	Explosions plus faibles.
4	»	4,17	»	4,17	
1	»	3,33	»	3,33	
14	»	9,86	»	9,86	
1	»	8,33	»	8,33	
14	»	40,00	»	40,00	Explosions assez faibles.
1	»	11,11	»	11,11	
1	»	6,67	»	6,67	
2	»	16,67	»	16,67	
»	»	»	»	»	Très faibles explosions.
»	»	»	»	»	
33	»	94,29	»	94,29	Très faibles explosions.
7		87,50	»	87,50	
9	»	100,00	»	100,00	Très faibles explosions, deux extinctions.
5	»	62,50	»	62,50	
7	»	15,91	»	15,91	Faibles explosions.
1		8,33	»	8,33	
5	»	6,85	»	6,85	
»	»	»	»	»	
18	1	20,69	1,15	21,84	
»	»	»	»	»	

TABLEAU N° 8.

NUMÉROS des lampes.	NOMBRES d'épreuves.	SIMPLES explosions.	SIMPLES passages de la flamme dans le chapeau.	Inflammations du gaz de la cloche.	OBSERVATIONS
190	27	23	4	»	
149	20	17	3	»	
12a	121	84	27	10	Les deux lampes 12a et 12b avaient le même réservoir. Le diaphragme, la cheminée, le chapeau et le verre étaient différents.
12b	42	20	22	»	
390	29	15	13	1	
224	20	14	5	1	
252	31	29	1	1	
231	87	65	20	2	
267	28	25	3	»	
165	41	37	4	»	
345	58	53	5	»	
491	29	20	9	»	
503	29	24	5	»	
1.137	32	22	10	»	
1.631	45	8	37	»	
1.966	102	19	81	2	
3 (L)	186	185	1	»	
45 (L)	41	41	»	»	
78 (L)	39	39	»	»	
2 (H)	27	22	5	»	
3 (H)	19	15	4	»	
1.182	73	68	5	»	
1.187	87	68	18	»	
1.191	27	15	8	»	
939	35	2	33	»	
955	36	36	»	»	
1.009	27	27	»	»	

TABLEAU N° 9.

NUMÉROS des lampes.	Proportion p. c. des simples passages de la flamme dans le chapeau.	Proportion p. c. des inflammations du gaz de la cloche.	Proportion p. c. des passages et des inflammations extérieures.	DISTANCE entre le sommet du porte-mèche et le réservoir en m/m.	DISTANCE de la base de la cheminée au sommet du porte-mèche en m/m.	OBSERVATIONS
190	27,14	»	27,14	15	18	
149	15,00	»	15,00	14	20	
12a	22,31	8,26	30,57	14	21	
12b	52,38	»	52,38	»	»	
390	44,83	3,45	48,28	16	19	
224	25,00	5,00	30,00	15	20	
252	3,23	3,23	6,46	15	17	
231	22,99	2,30	25,29	14	20	
267	10,71	»	10,71	15	19	
165	9,76	»	9,76	15 1/2	19	
345	8,62	»	8,62	15 1/2	17	
491	31,03	»	31,03	14	19	
503	17,24	»	17,24	12	20	
1.137	31,25	»	31,25	16	19	
1.631	82,22	»	82,22	14	21	
1.966	79,41	1,96	81,37	14	20-19	
3 (L)	0,54	»	0,54	12	22	
45 (L)	»	»	»	13	21	
78 (L)	»	»	»	13 1/2	20	
2 (H)	18,52	»	18,52	14 1/2	20 1/2	
3 (H)	21,05	»	21,05	13	22 1/2	
1.182	6,85	»	6,85	13	22	
1.187	20,69	1,15	21,84	12 1/2	22 1/2	
1.191	29,63	»	29,63	13	22	
939	94,29	»	94,29	15 1/2	19	
955	»	»	»	15 1/2	19	
1.009	»	»	»	17 1/2	18	

TABLEAU N° 10.

NUMÉROS des expériences.	CONDITIONS DES EXPÉRIENCES	Nombre d'expériences.	Simples explosions.	SIMPLES PASSAGES de la flamme dans le chapeau.	INFLAMMATIONS du gaz de la cloche.	OBSERVATIONS
1	Lampe n° 3 (L) avec le verre, le diaphragme, la cheminée et le tamis de la lampe 12a.	11	7	3	1	
2	Lampe n° 3 (L) avec le diaphragme et la cheminée de lampe n° 12a.	18	17	1	»	
3	Lampe n° 3 (L) avec le diaphragme, la cheminée et le tamis de la lampe n° 12a.	12	9	2	1	
4	Lampe n° 3 (L) avec le diaphragme et la cheminée du n° 1182.	21	»	»	»	
5	Lampe n° 3 (L) avec le diaphragme et la cheminée du n° 1631.	8	6	2	»	
6	Lampe n° 1182 avec le diaphragme et la cheminée du n° 3 (L).	25	25	»	»	
7	Lampe n° 1631 avec le diaphragme et la cheminée du n° 3 (L).	8	8	»	»	
8	N° 939 avec diaphragme et cheminée n° 1009.	12	12	»	»	
9	N° 939 avec diaphragme et cheminée n° 955.	12	9	3	»	
10	N° 955 avec diaphragme et cheminée n° 939.	12	4	8	»	
11	N° 955 avec diaphragme et cheminée n° 1009.	6	6	»	»	
12	N° 1009 avec diaphragme et cheminée n° 939.	12	4	8	»	
13	N° 1009 avec diaphragme et cheminée n° 955.	6	6	»	»	
14	N° 939 avec diaphragme et cheminée n° 3 (L).	22	22	»	»	
15	N° 3 (L) avec diaphragme et cheminée n° 939.	25	18	7	»	

TABLEAU N° 11.

Emploi d'un bec Bunsen débitant 100 à 125 litres à l'heure, sous une pression de 105 à 110 m/m d'eau.

Ce bec était incliné à 45° environ. Son extrémité était placée à 0,03 au-dessus de l'anneau qui repose sur le verre de la lampe.

NUMÉROS des lampes.	NOMBRES d'épreuves.	SIMPLES passages de la flamme dans le chapeau.	PASSAGES de la flamme en dehors du chapeau.	OBSERVATIONS
12a	27	9	5	*En relevant le bec de manière à souffler le mélange de gaz et d'air dans le chapeau, on maintenait la flamme dans celui-ci. Avec la lampe 252, ayant prolongé l'expérience pendant quelque temps, la toile du chapeau a rougi et les flammes ayant traversé la toile ont allumé un bec de gaz placé à côté. Le tuyau de sortie du mélange de gaz et d'air du bec Bunsen n'avait que 0m,0045 de diamètre et l'orifice de sortie du gaz seul, 0m,00045.*
165	35	13	11	
231	15	8	1	
252	18	10	»	
190	19	»	»	
390	48	»	»	

Emploi du même bec Bunsen (pression de 24 m/m d'eau) en enlevant le chapeau de la lampe.

NUMÉROS des lampes.	NOMBRES d'épreuves.	PASSAGES de la flamme à travers le diaphragme et allumage du bec Bunsen.	OBSERVATIONS
1.137	20	»	*Ces lampes, de plus, ont été expérimentées (sauf les nos 939, 955 et 1009) avec le même bec, en réduisant la surface libre du diaphragme avec un disque en papier. Dans ces conditions, on a obtenu 17 passages sur 20 épreuves avec la lampe 1966, et 2 passages, également sur 20 épreuves, avec la lampe 1631.*
1.966	20	7	
1.631	20	»	
12a	20	»	
149	20	»	
252	20	»	
390	20	»	
190	20	»	
224	20	»	
3 (L)	20	»	
939	60	1	
955	20	»	
1.009	20	»	

TABLEAU N° 12.

Expériences avec un bec Bunsen débitant 200 litres de gaz à l'heure, sous une pression de 24 m/m d'eau.

NUMÉROS des lampes.	NOMBRE d'épreuves.	SIMPLES passages de la flamme dans le chapeau.	PASSAGES de la flamme en dehors du chapeau.	OBSERVATIONS
190	10	»	»	
149	10	»	»	
12a (1)	9	3	1	(1) Avec réservoir du n° 3 (L).
390	12	»	»	
224	11	»	»	
252	10	»	»	
231	10	7	»	
267	10	1	»	
165	38	10	»	
345	10	»	»	
491	12	»	»	
503	10	»	»	
1.137	13	6	»	
1.631	10	2	»	
1.966	10	7	»	
3 (L)	20	»	»	
45 (L)	10	»	»	
78 (L)	10	»	»	
2 (H)	»	»	»	
3 (H)	»	»	»	
1.182	10	»	»	
1.187	10	»	»	
1.191	10	»	»	
939	10	7	»	
955	10	»	»	
1.009	10	»	»	

Séance du Jeudi 5 septembre 1889.

Présidence de M. Haton de la Goupillière.

M. Gauthier, l'un des secrétaires, donne lecture du procès-verbal de la première séance. Sa rédaction est adoptée.

M. Gauthier lit le procès-verbal de la séance du mardi 3 septembre.

M. Le Châtelier. — Je demande à faire, à propos de ce procès-verbal, une rectification aux observations que j'ai présentées dans la dernière séance ; c'est au sujet de la lampe Fumat. Nous avons fait quelques expériences ce matin même avec le dernier modèle, et nous avons reconnu que dans les mélanges les plus explosifs de gaz d'éclairage et d'air il y avait extinction complète de la lampe. C'est la première fois qu'une lampe présente ce caractère de s'éteindre. C'est avec le second modèle de lampe Fumat que nous avons réalisé cette expérience. Le simple déplacement de quelques millimètres d'une toile a suffi pour modifier complètement ses conditions.

M. le Président. — L'observation de M. Le Châtelier sera consignée au procès-verbal.

Le procès-verbal mis aux voix est adopté.

M. Castel annonce qu'il a reçu de la part de la Société de géographie de Lisbonne un certain nombre de brochures ainsi qu'un plan que cette Société met à la disposition des membres du Congrès. Il pense que ces documents intéresseront un certain nombre de membres et les dépose à cet effet sur le bureau. Cet envoi était accompagné d'une lettre dont M. Castel donne lecture :

M. Da Costa Sequeira. — Messieurs, étant étranger et ne parlant pas le français correctement, je vous prie de m'excuser de vous adresser quelques mots pour vous donner une petite explication sur le fait dont M. Castel vient de vous donner connaissance. Vous trouverez peut-être bien extraordinaire que la Société de géographie du Portugal vienne s'intéresser au Congrès des mines et de la métallurgie, mais je vais vous indiquer le motif qui détermine cette Société à s'intéresser à ces questions.

Vous connaissez, Messieurs, le Portugal; dans les temps anciens il a tâché de découvrir des pays nouveaux; il a fait des travaux pour connaître le monde; il a découvert le Brésil et d'autres contrées qui sont aujourd'hui acquises à la civilisation. En Afrique, le Portugal a une quantité énorme de terrains et des colonies très importantes qui occupent une étendue trois ou quatre fois plus grande que la France et qui sont pour la plupart encore à l'état sauvage. Le Portugal, l'Angleterre, la France et dernièrement l'Allemagne se divisent pour ainsi dire toute l'Afrique et l'intérieur en est encore tout à fait inexploité. Tous les efforts de ces pays tendent à introduire la civilisation dans ces parties de l'Afrique qui leur appartiennent. Vous comprenez, Messieurs, que les mines et l'industrie minière sont un moyen de commencer à introduire dans ces populations sauvages la civilisation et d'y amener les hommes et l'argent de l'Europe pour y faire des établissements. Vous voyez donc pourquoi la Société de géographie du Portugal s'intéresse vivement à ces questions et dirige ses études du côté de l'exploitation des mines, surtout d'or, d'argent et de pierres précieuses. Elle a une section spécialement destinée à étudier ces questions d'exploitation minière en Afrique et voilà la raison pour laquelle elle prend un si grand in-

térêt à tout ce qui concerne les mines et la métallurgie. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Nous vous prions d'être notre interprète et d'adresser nos remerciements à la Société de géographie de Lisbonne pour son importante communication.

Messieurs, l'ordre du jour appelle la question si importante des explosifs. Je dois commencer par remercier M. l'Inspecteur général des mines Mallard pour le soin et la clarté qu'il a apportés à l'étude de cette question. Je le prierai de commencer par un exposé résumé de son travail.

M. Mallard. — Messieurs, avant de commencer le résumé auquel m'invite M. le Président, je dois d'abord le remercier des paroles bienveillantes qu'il vient de m'adresser. Je serais heureux que mon rapport fût assez clair pour donner un résumé fidèle des expériences faites par la Commission des explosifs qui, je crois, ne seront pas sans influence sur la sécurité des mines à grisou. Cette sécurité est en effet un des desiderata actuels et j'estime qu'il faut s'endormir moins que jamais sur cette question, dans les traditions anciennes, et qu'il est absolument nécessaire de trouver quelque chose de nouveau.

M. Arnould, directeur des mines de Belgique, a remis à quelques-uns d'entre nous, au commencement de cette réunion, une statistique fort intéressante faite dans les mines de Belgique sur les accidents de mines. Dans cette statistique vous pourrez voir que si les accidents de toute nature ont diminué considérablement, lorsqu'on les rapporte au nombre d'ouvriers, il n'en est pas de même pour les coups de grisou qui ont au contraire subi une légère augmentation.

Voici les chiffres : de 1861 jusqu'en 1870, le nombre des accidents causés par le grisou a été de 3,44 pour 10.000 ouvriers ; de 1871 à 1888 il a été de 4,45 ; c'est une augmentation pénible pour ceux qui, comme nous tous, s'occupent, on peut le dire passionnément, d'assurer la sécurité de l'industrie minière, d'éviter ces catastrophes qui retentissent si douloureusement non seulement parmi les mineurs, mais encore dans le pays tout entier.

Vous savez, Messieurs, que parmi les causes des coups de grisou, une des principales est celle du tirage des coups de mine. Tant qu'on n'avait à sa disposition que la poudre noire dont l'emploi a duré si longtemps d'une manière exclusive, il paraissait à peu près impossible d'arriver à assurer au moyen de cet explosif la sécurité dans les mines à grisou. La question a changé de face après la belle découverte des véritables substances explosives, découverte due à Nobel, qui peut être considéré à juste titre comme un des grands inventeurs de notre époque ; car il a doté l'humanité d'un instrument d'une puissance extrême. On ne s'est pas aperçu d'abord de l'intérêt que présentent les explosifs au point de vue de la sécurité des mines à grisou. L'attention n'a été appelée sur ce point que par la Commission prussienne du grisou et par la Commission anglaise qui comptait parmi ses membres sir F. Abel, l'un des savants qui se sont le plus occupés de la science des explosifs.

Je ne reviendrai pas ici sur les expériences de la Commission prussienne et de la Commission anglaise ; je les ai exposées dans mon rapport ; je dirai seulement qu'à la suite de ces expériences qui avaient excité un très vif intérêt parmi les ingénieurs, le gouvernement français prit l'initiative de nommer une Commission pour étudier la question. Cette Commission a, dès

ses premières séances, jugé qu'elle ne pouvait mieux s'adresser pour faire les études nécessaires qu'à la Commission des substances explosives, institution peu connue dans le public, car elle s'occupe particulièrement des explosifs au point de vue des besoins de la guerre. Elle a à sa tête notre illustre chimiste M. Berthelot, qui en est le président ; M. Sarrau, qui en est le vice-président, et M. Vieille, qui en est le secrétaire. On peut dire que si M. Nobel a eu l'immense mérite de signaler le premier les explosifs modernes, ce sont les travaux de la Commission des substances explosives et ceux des savants éminents dont je viens de citer les noms qui ont surtout précisé la théorie du mode d'action de ces redoutables substances. C'est donc cette Commission qui s'est chargée des expériences que le Gouvernement français jugeait nécessaires et qui les a poursuivis pendant près de deux ans avec le plus grand zèle ; nous devons tous lui en exprimer notre reconnaissance. Il faut adresser aussi nos remerciements à l'Administration des poudres, qui a mis, avec la plus grande libéralité, à la disposition de la Commission, les ressources pécuniaires que nécessitaient des recherches fort coûteuses.

La Commission des substances explosives, à laquelle nous avons eu l'honneur d'être adjoints pour cette étude, M. Aguillon, M. Le Châtelier et moi, s'est attachée à résoudre la question théorique suivante :

Quelles sont les conditions que doit remplir un explosif pour qu'on puisse le considérer comme présentant une sécurité suffisante dans les mines à grisou ? Avant d'exposer la solution à laquelle a été conduite la Commission, il est nécessaire de rappeler quelques faits bien connus.

Les substances explosives se partagent en deux groupes absolument différents.

D'une part se trouvent les substances telles que la poudre noire, dans lesquelles la détonation est le résultat d'une inflammation progressive qui se propage lentement avec une vitesse dont on peut d'ailleurs être maître : c'est ce qu'on appelle la déflagration.

Dans les substances explosives du genre de celles que Nobel a indiquées le premier aux mineurs, la déflagration peut se produire, comme dans la poudre, par contact avec un corps enflammé. Mais ces substances sont en outre susceptibles de se décomposer sous l'influence d'un choc d'une violence extrême produit en un point ; la décomposition s'étend alors à toute la masse de l'explosif avec une vitesse supérieure même à celle du son : c'est l'*onde explosive* qui a été pour la première fois étudiée et définie avec précision par MM. Berthelot et Vieille. L'expérience a montré que la vitesse de propagation de cette onde explosive peut atteindre 5.000 mètres à la seconde, de sorte qu'une cartouche d'un décimètre de longueur détone complètement dans l'intervalle d'un *cinquante millième de seconde.*

Vous voyez que dans cet intervalle aucun phénomène physique n'a le temps de se produire. Après la propagation de l'onde, la matière solide est donc remplacée, presque sous le même volume, par des gaz à une température considérable de plus de 3.000° dans le cas de la nitroglycérine, occupant un volume 800 fois plus grand qu'à la pression ordinaire et exerçant ainsi sur les corps en contact des pressions énormes qui peuvent dépasser 10.000 atmosphères.

Dans les expériences que nous avons faites jadis, M. Le Châtelier et moi, à la demande de la Commission du grisou, nous avions rencontré et signalé un fait fort intéressant que nous avions appelé le *retard à l'inflammation* des mélanges grisouteux. Voici en quoi il consiste :

Lorsqu'on a un mélange d'air et d'oxyde de carbone et qu'on porte un point de ce mélange à une température égale ou supérieure à 650°, l'inflammation se propage rapidement à toute la masse gazeuse. Avec le grisou, la température d'inflammation est sensiblement la même, mais la partie échauffée ne parvient à s'enflammer que si elle est portée, pendant un temps suffisamment long, à cette température. La durée nécessaire de l'échauffement est d'autant plus petite que la température à laquelle est porté le gaz est plus élevée au-dessus de 650°.

Si l'on combine les faits que je viens de rappeler, on peut se représenter comme il suit les effets produits par la détonation d'un explosif dans une atmosphère grisouteuse.

Commençons par la déflagration de la poudre noire et supposons d'abord une cartouche suspendue librement dans l'atmosphère et enflammée ; la déflagration se produit lentement ; elle dure une fraction de seconde appréciable, et bien que la température soit extrêmement élevée, voisine de 2.000°, il y aura un contact assez long, entre les gaz de la poudre et les gaz extérieurs, pour que l'inflammation de ceux-ci arrive à se produire. L'explosion du grisou a donc toujours lieu, à coup sûr, quand on fait détoner une cartouche de poudre noire dans une atmosphère grisouteuse.

Supposons maintenant la même charge de poudre enfermée dans un trou de mine, l'inflammation de la poudre sera encore lente et les quartiers de rochers pourront être projetés en grande partie avant que toute la poudre soit brûlée. Il s'ensuit qu'il y aura encore contact suffisamment prolongé entre les gaz très chauds et le mélange d'air et de grisou et par conséquent inflammation de celui-ci. Il n'y a donc pas de sécurité

possible avec l'emploi de la poudre noire dans les mines à grisou.

Les choses changent si l'on considère maintenant un explosif parcouru par l'onde explosive. La température des gaz chaux sera la même et pourra même être plus élevée, mais la projection de ces gaz va durer un temps extrêmement court; le mélange avec l'atmosphère ambiante est ou sera très rapide et s'il y a une juste relation entre la température de détonation et la vitesse de projection du gaz, le mélange de grisou et d'air qui enveloppe la cartouche pourra ne pas être enflammé.

Tout dépend donc de deux éléments, d'une part de la température de détonation de l'explosif et de l'autre de la rapidité avec laquelle l'explosif projette les gaz brûlés.

Ce dernier élément varie assez peu, il suffit donc de chercher un explosif qui ait une température de détonation assez basse pour que, pendant le temps extrêmement court de la projection des gaz chauds, le mélange grisouteux n'ait pas le temps de s'allumer.

La Commission a d'ailleurs donné, pour la première fois, des formules permettant de calculer la température de détonation d'un explosif donné, mais je ne fais que vous signaler ici ce point, sur lequel vous trouverez tous les développements nécessaires dans le rapport de la Commission.

Il y a cependant une autre condition de sécurité dont il importe de tenir compte, c'est la quantité même de l'explosif qu'on fait détoner.

Supposons, pour la commodité du raisonnement, l'explosif sous la forme d'une sphère; si la sphère est très petite, les gaz provenant de la détonation n'auront à parcourir qu'un espace très court pour que la quantité d'air mélangée aux gaz de l'explosif soit très considérable

par rapport au volume de la sphère, le refroidissement sera donc très rapide. Si au contraire la sphère explosive est de grand diamètre, il faudra, pour arriver à un mélange semblable, que les gaz parcourent un plus grand espace. Comme d'ailleurs la pression initiale est toujours la même et que par suite la vitesse initiale ne change pas, il faudra, pour amener les gaz à 650°, point où ils deviennent inoffensifs, un temps sensiblement plus petit avec une petite charge qu'avec une grosse. On a donc moins de chances d'inflammation du mélange grisouteux avec une petite charge qu'avec une grosse.

Ainsi, en résumé, la sécurité des mines à grisou est impossible à assurer avec l'emploi de la poudre noire. Avec les explosifs (on entend sous ce nom les substances détonantes qui sont parcourues par l'onde explosive) auxquels il faut recourir, la sécurité sera d'autant plus grande que la température de détonation sera plus faible et que la charge employée sera plus petite.

Il y a une autre condition qui influe sur la sécurité, c'est le travail qu'on impose à l'explosif. Pendant la détonation, qui amène les gaz en mélange avec l'air extérieur et les refroidit par ce mélange même, si on les force à accomplir un certain travail, ils se refroidiront d'autant plus vite et les chances d'inflammation du mélange gazeux extérieur seront diminuées d'autant. La Commission des substances explosives a étudié ce côté de la question avec le plus grand soin et vérifié par des expériences nombreuses l'exactitude de la conséquence théorique que je viens de formuler. Elle a même montré qu'on pouvait jusqu'à un certain point calculer la quantité de travail nécessaire pour rendre inoffensif un explosif donné. Prenons la nitroglycérine, par exemple ; elle a une température de détonation de 3.000° ; cette température suffit et au-delà pour qu'on soit toujours sûr d'allumer les mélanges grisouteux au

milieu desquels on fait détoner cette substance. Mais si on recouvre la cartouche d'une couche d'argile ou si on la place dans une enveloppe métallique, il faudra nécessairement que l'explosif brise cette enveloppe, d'ailleurs assez mince, et produise un certain travail en se refroidissant d'autant. La Commission des substances explosives a pu ainsi constater que si l'on enveloppe de la dynamite dans un tube d'étain d'épaisseur suffisante pour que la dislocation et la projection des débris de ce tube absorbent 33 p. °/₀ du travail rendu libre par la détonation et réduisent la température des gaz brûlés de 3.000° à 2.200°, l'inflammation du mélange grisouteux qui enveloppe la cartouche n'a plus lieu. La même substance qui enflammait tout à l'heure le grisou ne l'enflamme plus, et il a suffi, pour produire cet effet, d'un tube d'étain ayant 22 millimètres de diamètre intérieur et 40 millimètres de diamètre extérieur.

Il y a donc un grand intérêt à imposer aux explosifs, lorsqu'on veut s'en servir, le travail maximum ; et un explosif est d'autant plus sûr qu'il travaille mieux ; comme il donne en même temps plus d'effet utile, tout est bénéfice.

Voilà donc les conditions principales dont on a à tenir compte lorsqu'on veut supprimer ou tout au moins atténuer les causes de danger auxquelles le tirage des coups de mine expose les mines à grisou. J'en ajouterai une autre, mais qui a une importance un peu moindre et qui découle d'ailleurs de celles que je viens d'indiquer. Si on a un explosif qui est bourré avec soin, de telle sorte qu'il n'y ait pas de vide dans la cavité dans laquelle on le met ; si en un mot, pour employer l'expression technique des poudriers, la densité de chargement est considérable, les chances d'inflammation du grisou sont atténuées. Cette inflammation est au contraire plus facile si la densité de chargement

est plus faible, c'est-à-dire si on laisse plus de vide autour de la cartouche. Il est en effet aisé de voir que dans ce dernier cas le travail imposé aux gaz de l'explosif est moindre que dans le premier.

Il restait maintenant à tirer parti des conclusions théoriques que je viens d'exposer, et chercher les explosifs qui pouvaient réaliser les conditions indiquées par la théorie comme les plus favorables pour l'emploi pratique. La Commission a poursuivi ses recherches dans ce sens, mais avant de vous en faire connaître le résultat, je vous demande la permission d'indiquer d'une manière générale quels sont les explosifs connus et comment on peut les classer.

On peut distinguer d'abord deux sortes d'explosifs, les simples, formés d'une seule substance, tels que la nitroglycérine, et les binaires formés par le mélange de deux substances. Les simples peuvent se partager eux-mêmes en deux catégories, suivant qu'ils donnent naissance, après la détonation, à des produits comburants ou à des produits combustibles. Il y a d'ailleurs une condition générale pour qu'une substance puisse être rangée dans la catégorie des explosifs, c'est que la réaction chimique qui accompagne la détonation dégage et rende libre une certaine quantité de chaleur. Cette condition ne suffit pas, il faut encore que la substance soit apte à être parcourue par l'onde explosive, et cette aptitude peut être plus ou moins développée, suivant que la substance est à l'état solide ou à l'état liquide, comprimée ou non.

Les explosifs dont la détonation donne lieu à des produits combustibles et ceux qui donnent lieu à des produits comburants ne peuvent pas être employés indifféremment dans les mines. Les explosifs à produits combustibles qui peuvent dégager de l'hydrogène et

de l'oxyde de carbone doivent être rejetés, d'une part, parce que l'oxyde de carbone est un gaz éminemment dangereux qu'on ne se soucie pas de dégager dans les mines sans nécessité; d'autre part, parce que l'hydrogène et l'oxyde de carbone mélangés à l'air, et portés à une haute température, peuvent s'emflammer eux-mêmes. La Commission a constaté que cet effet pouvait se produire, non pas pour tous les explosifs à produits combustibles, mais pour beaucoup d'entre eux.

Les explosifs employés dans les mines doivent donc donner, par la détonation, des produits comburants, ou tout au moins non combustibles. Le choix n'est pas très grand quand on se borne aux explosifs simples. On ne peut en effet s'adresser qu'à la nitroglycérine, à la nitromannite, à l'azotate d'ammoniaque ou à un chlorate. Les chlorates ont une telle facilité à détoner par le choc qu'ils sont d'un emploi très dangereux. L'azotate d'ammoniaque au contraire détone beaucoup trop difficilement. La nitromannite, dont le prix est très élevé, est un explosif de luxe dont l'intérêt n'est que théorique. La nitroglycérine reste donc seule, au moins dans l'état actuel de nos connaissances. Mais la nitroglycérine a une température de détonation de 3.000°; il n'en faut donc pas parler si on veut avoir une sécurité suffisante. On est donc forcé, pour atteindre ce but, de recourir aux explosifs binaires.

D'abord, qu'elle est la condition pour qu'un corps binaire soit un explosif? Il faut toujours que l'un des corps mélangés soit un explosif, c'est-à-dire puisse être à lui tout seul parcouru par l'onde explosive; ainsi, la poudre noire, dont aucun des trois éléments n'est susceptible d'être parcouru par l'onde explosive, est une substance déflagrante, mais pas explosive.

J'ai mis sous vos yeux un tableau emprunté au rapport qui vous a été distribué et dans lequel j'ai essayé

de donner une classification des explosifs binaires. Je les range d'abord en deux *classes :*

La *première classe* comprend les mélanges qui *donnent après détonation des produits qui ne réagissent pas mutuellement les uns sur les autres*;..

La *seconde classe* comprend les mélanges pour lesquels les *produits de la détonation peuvent réagir mutuellement.*

Chaque classe se subdivise en plusieurs groupes.

Dans la première classe le *premier groupe* renferme des mélanges composés d'un *explosif* et *d'une substance non explosive indécomposable par la détonation.* Telle est la *dynamite* formée de nitroglycérine et de sable. La présence du sable améliore les conditions de sécurité en abaissant d'une manière fort notable la température de détonation; mais si l'on voulait mettre assez de sable pour diminuer autant qu'il conviendrait cette température, on obtiendrait un explosif trop peu énergique et à peine utilisable.

Le *second groupe* de la première classe comprend les mélanges composés *d'un explosif* et *d'une substance non explosive, mais décomposable par la détonation*, en absorbant de la chaleur. L'explosif devant être comburant sera nécessairement de la nitroglycérine, qui pourra être mélangée avec un sel, hydraté ou non, tel que le carbonate de soude hydraté, le sulfate de magnésie hydraté, l'alun d'ammoniaque, etc., etc.

Vous savez que les explosifs de cette nature, qui ont été expérimentés, surtout en Allemagne, sont un mélange de dynamite avec le carbonate de soude hydraté: c'est ce qu'on appelle la *wetterdynamit.* Cette substance fonctionne bien, possède une température de détonation suffisamment basse pour ne pas enflammer le grisou en détonant à l'air libre. Le plus grave incon-

vénient, c'est que la décomposition du carbonate de soude se fait à une température assez basse, 35° environ, et par conséquent peut se produire dans les magasins où l'on conserve la matière. J'ai cité dans mon rapport un exemple de cette décomposition qui s'est produit dans des mines d'Allemagne.

Les mélanges du *troisième et dernier groupe* de la première classe sont formés de deux explosifs, tous deux comburants. Il ne faut pas songer à mélanger deux substances explosives dont la température de détonation est élevée ; mais il y a une substance remarquable, l'azotate d'ammoniaque, dont la température de détonation ne dépasse pas 1.100° ; celle-là, on peut l'employer avec avantage pour abaisser la température de détonation du mélange. Ce sont les mélanges de cette nature sur lesquels a particulièrement insisté la Commission des substances explosives ; elle a expérimenté des mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque. Elle a montré que la proportion d'azotate d'ammoniaque pouvait varier entre 80, 70 et même 60 p. °/₀, sans que la sécurité cesse d'être convenablement assurée. La température de détonation ne dépasse pas 1.900° ; la force explosive qui s'élève à mesure que la proportion d'azotate diminue est peu inférieure à celle de la dynamite.

Des mélanges de cette nature, préparés à la poudrerie de Sevran-Livry, ont été envoyés à un certain nombre de mines pour être soumis à des essais pratiques. Toutes les mines se seraient certainement prêtées à ces essais, mais comme la Commission ne pouvait pas envoyer des explosifs à toutes, il a fallu faire un choix et ce sont les mines d'Anzin, de Ronchamp, de Blanzy et de Firminy qui ont prêté leur concours. Ces essais, dont j'ai donné les résultats dans mon rapport, ont été, on peut le dire, pleinement satisfaisants.

La Commission avait indiqué dans son rapport qu'on pouvait substituer la nitroglycérine à la dynamite en augmentant d'une façon convenable la proportion d'azotate. Dans le but de faciliter la fabrication, la Société générale des dynamites a eu recours à la nitroglycérine gélatinisée par l'addition d'une quantité plus ou moins grande de collodion, c'est-à-dire à la dynamite-gomme.

Les mélanges fabriqués par la Société générale ont été employés aux mines d'Anzin et j'espère que M. François voudra bien nous donner des renseignements sur les résultats qu'il a obtenus. L'un des mélanges expérimentés contenait 12 de dynamite-gomme et 88 d'azotate d'ammoniaque ; la température de détonation calculée est de 1.490 degrés ; la puissance explosive, déterminée expérimentalement, est un peu supérieure à celle de la dynamite. On a aussi employé un mélange à 30 p. °/₀ de dynamite-gomme et 70 p. °/₀ d'azotate qui a donné une force explosive seulement un peu inférieure à celle de la dynamite-gomme.

Nous arrivons maintenant à la *seconde classe* des explosifs, ceux dont *les produits de détonation peuvent réagir mutuellement.* C'est le plus nombreux et on y peut varier beaucoup plus les mélanges.

On peut distinguer d'abord un *premier groupe* dans lequel, à un *explosif à produits combustibles est mélangé une substance non explosive* chargée de fournir l'oxygène. Tel est le cas du mélange de coton poudre et d'azotate de baryte qui est vendu sous le nom de poudre pyroxylée, par l'Administration des poudres. Si avec ces mélanges on veut arriver à la combustion complète, il faut ajouter trop d'azotate de baryte et alors l'aptitude à la détonation devient trop faible. Il faut donc y renoncer.

Dans un *second groupe, l'explosif est comburant et la substance non explosive combustible.* La Commission a fait de nombreuses expériences sur quelques-uns des mélanges de cette sorte qui paraissaient avantageux. C'est ainsi qu'elle a fait des essais avec des mélanges de naphtaline et d'azotate d'ammoniaque qui se sont bien comportés à la poudrerie de Sevran, mais n'ont pas voulu détoner dans les mines (*rires*); il a fallu y renoncer, et cela est fâcheux parce qu'on aurait pu ainsi obtenir des explosifs d'un prix très bas et pouvant être maniés et transportés sans aucun danger.

Enfin, le *troisième et dernier groupe* comprend les mélanges dans lesquels à un *explosif comburant* s'ajoute *un autre explosif, mais combustible.*

La dynamite-gomme, mélange de nitroglycérine et de coton poudre, appartient à ce groupe; cette substance ayant une température de détonation plus grande que celle de la dynamite est d'un emploi plus dangereux encore dans les mines à grisou, comme l'expérience l'a montré.

Si l'on veut un explosif d'un emploi sûr, il ne faudra pas, dans les mélanges dont il s'agit maintenant, employer la nitroglycérine comme explosif comburant, puisque nous augmenterions encore la température de détonation, déjà trop élevée, de la nitroglycérine par la réaction avec les produits de détonation de l'explosif combustible. On ne pourra donc se servir que d'azotate d'ammoniaque. Quant à la substance explosive combustible qu'on peut ajouter, on a le choix entre un très grand nombre : le coton nitré, la binitrobenzine, etc. Un mélange contenant 20 p. °/₀ de collodion et 80 p. °/₀ d'azotate d'ammoniaque a été étudié par la Commission et expérimenté dans les mines dont j'ai donné le nom plus haut. Il a donné d'assez bons résultats, avec une aptitude à la détonation cependant moins grande

que les mélanges à base de nitroglycérine ; il est possible que par une fabrication plus soignée on arrive à obtenir une détonation meilleure.

La poudrerie de Sevran a préparé récemment un mélange contenant 10 p. °/₀ seulement de coton nitré et 90 p. °/₀ d'azotate d'ammoniaque. Ce mélange a donné à Anzin de bons résultats au point de vue de l'aptitude à la détonation ; il n'y pas eu de ratés. La puissance explosive s'est aussi montrée satisfaisante. Je crois que l'Administration est disposée à livrer, dans un bref délai, des explosifs de cette nature aux mineurs qui voudraient les expérimenter et s'en servir.

On peut aussi employer, au lieu de coton nitré, la binitrobenzine. M. Favier et M. Lomm se disputent le monopole de la fabrication des mélanges de cette sorte. Ils ont été expérimentés par la Commission et essayés dans les mines. Ils ont l'inconvénient de se prêter, moins que ceux à base de coton nitré, à des variations dans la proportion des substances mélangées. Avec une proportion de 10 p. °/₀ de binitrobenzine, la température de détonation est déjà de 1.600 degrés, et l'on ne peut guère descendre au-dessous de ce chiffre. Les essais de ce mélange ont été satisfaisants.

Un autre mélange a été aussi indiqué, c'est celui de la chlorobinitrobenzine avec l'azotate d'ammoniaque auquel on donne le nom de *roburite*. Jusqu'à présent, on ne connaît pas très bien la composition de ce mélange, et d'une manière générale je peux dire à ce sujet que le commerce des explosifs se fait d'une façon très fâcheuse. La plupart du temps on donne un nom fantaisiste quelconque, celui de roburite, par exemple, à un mélange dont la composition est tenue secrète. Dans ces conditions, toute expérience sur la substance explosive en question est illusoire, puisqu'on peut la changer du jour au lendemain. Je crois qu'il y

aurait grand avantage à obliger les vendeurs d'explosifs, comme les épiciers, à indiquer sur les cartouches non seulement le nom plus ou moins fantaisiste qu'ils pourront continuer à donner au produit, mais sa véritable composition, de manière que les mineurs qui les emploient sachent à quoi s'en tenir.

Je m'arrêterai là, Messieurs, en vous demandant pardon d'avoir aussi longtemps abusé de votre attention. (*Applaudissements.*)

Monsieur le Président. Je crois être l'interprète de toute l'assemblée en remerciant M. Mallard des intéressants renseignements qu'il vient de nous donner. Comme complément à cette communication, je prierai M. François de vouloir bien nous dire quelques mots sur les essais qu'il a fait aux mines d'Anzin.

M. François, ingénieur en chef de la Compagnie d'Anzin, donne lecture du travail suivant :

NOTE
SUR L'EMPLOI DES EXPLOSIFS DE SURETÉ
AUX MINES D'ANZIN

La Compagnie d'Anzin a été chargée de faire quelques essais pratiques sur l'emploi dans les travaux de mine d'un certain nombre de mélanges explosifs proposés par la Sous-Commission des substances explosives. Elle a fait exécuter à la fin de l'année 1888 une série d'expériences sur les mélanges suivants :

1° 20 p. °/₀ dynamite n° 1 et 80 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

2° 30 p. °/₀ dynamite n° 1 et 70 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

3° 10 p. °/₀ binitrobenzine et 90 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

4° 15 p. °/₀ coton octonitrique et 85 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

5° 20 p. °/₀ azotate cupro-ammonique et 80 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

6° 70 p. °/₀ azotate cupro-ammonique et 30 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

7° 5 p. °/₀ naphtaline et 95 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

Les essais ont été exécutés dans les travaux de la fosse Renard, à Denain, et répétés les 22 et 23 février 1889 à la fosse Bleuse-Borne, en présence des membres de la Sous-Commission des substances explosives : MM. Mallard, inspecteur général des mines, président ; MM. Aguillon et Le Châtelier, ingénieurs en chef des mines, et M. Bruneau, ingénieur des poudres.

Il n'entre pas dans le cadre de cette note succincte de donner les résultats de tous les essais entrepris ; ces résultats ont fait l'objet de nombreux procès-verbaux qui seront publiés en même temps que les résultats des essais entrepris aux mines de Blanzy, Firminy et Ronchamp. Disons simplement que les différents mélanges d'azotate cupro-ammonique et de naphtaline avec l'azotate d'ammoniaque ont été rejetés, tant à cause des fumées désagréables qu'ils produisaient que de leur faible aptitude à la détonation.

Mais les mélanges de coton poudre, de binitro-benzine, de dynamite avec l'azotate d'ammoniaque ont donné d'excellents résultats. La Compagnie d'Anzin est entrée tout de suite et résolument dans la voie d'une application en grand, dans ses mines à grisou, des explosifs de sûreté.

Nous distinguerons ces explosifs en deux classes :

1° Les explosifs composés de mélanges de binitrobenzine ou de coton poudre avec l'azotate d'ammoniaque, mélanges qui nous ont été fournis par la poudrerie nationale de Sevran-Livry.

2° Les explosifs composés de dynamite et d'azotate d'ammoniaque qui nous sont fournis par l'industrie privée.

1° *Explosifs de Sevran-Livry.*

La poudrerie nationale de Sevran-Livry nous a livré en juin dernier 50 kilog. des mélanges :

10 p. °/₀ binitrobenzine et 90 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

10 p. °/₀ coton octonitrique et 90 p. °/₀ azotate d'ammoniaque.

Ces explosifs nous ont été fournis en cartouches très bien préparées de 50, 100 et 150 grammes, ayant 25 m/m de diamètre. La densité de chargement est pour le premier mélange de 0,95 et pour le deuxième de 0,84. Cette densité de chargement pourra sans doute être augmentée encore, ce qu'il est très important d'obtenir grâce à une compression plus énergique. La détonation complète a toujours été obtenue avec des capsules renforcées contenant 1 gr. 50 à 2 grammes de fulminate de mercure.

Chaque cartouche comprimée renferme une âme centrale remplie de la même matière explosive réduite en poussière très fine et destinée à propager l'onde explosive. Nous n'avons pas eu un seul raté, les fumées produites par l'explosion ne présentent aucun inconvénient et nous considérons ces explosifs comme pouvant être employés d'une façon courante dans les travaux de mine. La force explosive est sensiblement égale à la force explosive de la dynamite n° 1 du commerce. Les températures de détonation sont pour le mélange de

binitro-benzine de 1.820° environ et de 1.560° pour le mélange de coton poudre et d'azotate d'ammoniaque.

La poudrerie nationale de Sevran-Livry s'est outillée pour produire industriellement le mélange de coton poudre et d'azotate d'ammoniaque et nous venons d'apprendre avec la plus vive satisfaction qu'elle est disposée à recevoir nos commandes et à nous livrer cet explosif au prix de 4 francs le kilog.

2° *Explosifs à base de nitroglycérine fournis par l'industrie privée.*

Peu de temps après les essais exécutés à la fosse Bleuse-Borne, en présence des membres de la Sous-Commission des substances explosives, nous faisions à la Société générale des dynamites une commande de 500 kilog. du mélange : 20 dynamite n° 1 et 80 azotate d'ammoniaque, et les essais en grand confirmaient les résultats précédemment obtenus. Le mélange se comportait fort bien dans nos travaux, la détonation complète était toujours obtenue au moyen de capsules renforcées contenant 0 gr. 75 de fulminate de mercure.

Mais la puissance explosive étant notablement inférieure à la puissance explosive de la dynamite n° 1 et surtout de la dynamite-gomme, tous nos efforts devaient tendre à posséder un explosif qui présentât, avec la sécurité désirable, la force explosive qui nous est nécessaire et à laquelle nos mineurs sont habitués.

La Société générale des dynamites nous proposa alors de supprimer la guhr, matière inerte qui entre pour 25 p. °/₀ dans la composition de la dynamite n° 1 (suppression qui avait été indiquée comme possible dans le rapport de M. Mallard, p. 150) et d'employer un mélange contenant 12 à 14 p. °/₀ de nitroglycérine gélatinisée et 86 à 88 p. °/₀ d'azotate d'ammoniaque.

Nous fîmes immédiatement des essais dans ce sens et les résultats furent très satisfaisants.

La nitroglycérine gélatinisée est obtenue en introduisant dans la nitroglycérine du coton octonitrique en proportions telles que la nitroglycérine se solidifie et qu'il reste après la détonation un excès d'oxygène. La proportion de coton octonitrique varie entre 2 et 3 p. °/₀.

La nitroglycérine gélatinisée est une matière plastique pouvant très bien remplir tous les vides qui se trouvent entre les grains d'azotate d'ammoniaque, ce qui permet d'arriver à une densité de chargement d'environ 1,25.

Le mélange 12/88 détone parfaitement bien avec des capsules renforcées contenant 0 gr. 75 de fulminate de mercure. La puissance explosive est sensiblement égale à celle de la dynamite n° 1. La température de détonation est d'environ 1.500°.

Nous avons poursuivi nos expériences en faisant augmenter progressivement la quantité de nitroglycérine, tout en nous maintenant dans les limites d'une température de détonation qui présentât la sécurité désirable. Nous avons la satisfaction de dire que l'on peut employer aujourd'hui des explosifs de sûreté qui présentent à peu près les conditions de force recherchées avec juste raison par les exploitants. Le mélange composé de 30 p. °/₀ nitroglycérine gélatinisée et 70 p. °/₀ d'azotate d'ammoniaque détone très bien avec des capsules renforcées contenant 1 gramme ou même 0gr,75 de fulminate de mercure. La température de détonation ne dépasse pas 1.900 degrés et la puissance explosive est d'environ 92 p. °/₀ de la puissance explosive de la dynamite-gomme.

Les mines d'Anzin ont consommé depuis quelques mois plus de 12.000 kilog. des mélanges de nitroglycérine et d'azotate d'ammoniaque. Dans toutes nos fosses

grisouteuses, nous n'employons pas d'autres explosifs de sûreté. Nous ne faisons d'exception à cette règle générale que pour les travers-bancs exécutés à la perforation mécanique dans les mines de déchaussement qui sont chargées avec de la dynamite-gomme et pour les approfondissements de puits où les trous de mine donnent de l'eau.

Nous n'avons pas, jusqu'à présent, éprouvé la moindre difficulté au sujet de la conservation de ces explosifs dont l'encartouchage demande naturellement à être très soigné.

Cette expérience faite depuis plus de quatre mois sur une aussi grande échelle nous permet de dire que les explosifs de sûreté proposés par la Commission sont d'un emploi très pratique dans les travaux de mine.

Il va sans dire d'ailleurs que l'emploi des explosifs de sûreté ne nous empêche pas de prendre toutes les mesures de précautions habituelles dans nos mines à grisou.

Le tassement des explosifs au fond des trous de mines et le bourrage soigné sont recommandés d'une façon toute spéciale à nos mineurs.

De très nombreuses expériences exécutées avec le plus grand soin à la fosse Bleuse-Borne par M. Petit, ingénieur de la Compagnie d'Anzin, ont démontré, de la façon la plus péremptoire, que l'effet utile et la sécurité dans l'emploi des explosifs sont augmentés d'une façon notable par un bourrage soigné et complet.

Le mémoire de M. Petit, que j'ai l'honneur de présenter au Congrès des Mines et de la Métallurgie, montre que les conclusions de la Commission au sujet du bourrage sont absolument confirmées par une longue série d'expériences pratiques.

Avant de terminer cette note, nous croyons être l'interprète de tous les exploitants en exprimant notre

profonde reconnaissance à Messieurs les Membres de la Commission des substances explosives.

Le savant rapport de M. Mallard vient de fixer la théorie des explosifs et va permettre d'augmenter notablement la sécurité dans les mines à grisou.

Toute notre gratitude est acquise aux auteurs de travaux aussi remarquables. (*Vifs applaudissements.*)

Une autre question, qui se rattache à la précédente, a également attiré notre attention et fait l'objet de recherches suivies aux mines d'Anzin.

C'est la question du *bourrage des mines.*

Nous vous demanderons donc de nous permettre de vous donner connaissance du travail préparé par l'un des ingénieurs de notre Compagnie, M. Petit, directeur de la division de Bleuse-Borne.

NOTE SUR LES INFLUENCES DU BOURRAGE

DANS L'EMPLOI DES EXPLOSIFS

But de cette note.

La mise en œuvre d'un explosif, pour le sautage d'un coup de mine, comprend trois opérations préliminaires : l'*amorçage*, le *bourrage* et l'*allumage*, qui ont chacune une importance particulière.

Nous nous sommes occupé spécialement de l'influence d'un bourrage énergique et bien fait au double point de vue :

1° De l'*augmentation d'effet utile* de la poudre employée ;

2° De la *diminution de longueur de flamme* produite par la détonation.

Cette note a pour *but* de faire connaître les résultats de nombreuses observations et d'en déduire les conséquences générales que leur examen peut suggérer.

§ Ier

INFLUENCE DU BOURRAGE SUR L'EFFET UTILE DES EXPLOSIFS

Les mineurs ont généralement la mauvaise habitude, lorsqu'ils emploient la dynamite pour le sautage des fourneaux de mine, de n'opérer qu'un *bourrage très incomplet;* cette coutume fâcheuse s'explique aisément quand on songe au rôle que jouait la dynamite dans les premières années de la découverte de Nobel; on ne se servait guère de cette poudre nouvelle que pour l'abatage des roches *aquifères;* l'explosion se produisant malgré l'absence de bourrage argileux, l'ouvrier croyait en déduire logiquement qu'un bourrage incomplet suffisait pour tirer le meilleur parti de la dynamite.

Cette *conclusion est erronée,* ainsi que suffisent à le démontrer les essais suivants : 1° Essais aux cubes de plomb.

La marche indiquée par M. Colladon pour comparer entre elles les puissances explosives de différentes poudres, détonant dans les mêmes conditions, permet également d'étudier les *changements d'effets utiles* d'un *même explosif*, dont on varie le mode d'emploi.

Voici la manière de procéder :

Des blocs de plomb cubiques de $0^m,25$ de côté sont percés d'un trou médian de $0^m,018$ de diamètre et de $0^m,130$ de profondeur, représentant le fourneau de mine ; ils reçoivent la *même charge,* 10 grammes, *du même explosif*, qu'on recouvre d'un *bourrage* de *hauteur variable.* La capacité du fourneau est jaugée, avant et après l'explosion, en versant dans le vide primitif et le vide final l'eau que contient un tube gradué en dixièmes de centimètre cube ; l'écart entre les deux nombres ainsi trouvés est proportionnel à l'effet utile.

Le tableau ci-annexé renferme les résultats fournis par la détonation de petites cartouches de *dynamite n° 1 gélatinée* du poids de 10 grammes.

Les essais sont classés par groupes ; chacun d'eux comprend les expériences faites avec des cubes provenant de la même coulée, aussi identiques que possible comme dimensions. On remarque immédiatement, à l'inspection des colonnes suivantes, que la différence d'effet utile réalisée, en variant la hauteur du bourrage, existe toujours *au profit du tassement complet et serré ;* l'écart est plus ou moins grand, mais il s'opère toujours dans le même sens.

Expériences aux cubes de plomb.

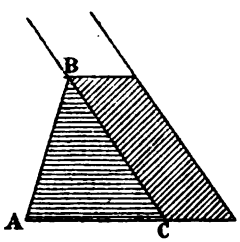
NATURE ET HAUTEUR du bourrage.	NUMÉROS des expériences.	VIDE PRIMITIF	VIDE FINAL	EFFET UTILE
Diève. 30 m/m	N° 1	33c3,500	225c3,000	191c3,500
Diève serrée jusqu'à la gueule du trou	N° 2	35c3,000	279c3,000	244c3,000
Diève. 26 m/m.....	N° 3	33c3,200	227c3,500	194c3,300
Diève. Bourrage complet	N° 4	33c3,500	312c3,500	279c3,000
Diève. Bourrage complet	N° 5	33c3,500	325c3,000	291c3,500
Diève. 26 m/m	N° 6	32c3,000	295c3,000	263c3,000
Bourrage complet.....	N° 7	32c3,000	350c3,000	318c3,000
Bourrage complet à l'eau	N° 8	35c3,000	220c3,000	185c3,000
Bourrage complet à l'eau	N° 9	32c3,000	210c3,000	178c3,000

L'avantage qu'on peut *théoriquement* retirer d'un bourrage soigné est donc mis en lumière d'une façon notoire par ces essais préliminaires.

Ces expériences ont été complétées par une longue série d'observations *faites dans la mine*. La comparaison de l'effet utile d'un explosif employé diversement est délicate, car la résistance que doit vaincre la puissance explosive est fonction de la *dureté de la roche souvent très variable ;* dans les essais au cube de plomb, l'épaisseur de métal dans laquelle les gaz de l'explosif creusent l'excavation est semblable sur toutes les faces ; *de tous les éléments* qui concourent à la détonation, *un seul est variable*, le bourrage ; — *en pratique*, il est bien difficile de réaliser des conditions aussi comparables ; on peut néanmoins s'en rapprocher le plus possible, en procédant de la façon suivante : 2° Essais pratiques.

Il est permis d'admettre que dans un chantier *régulier*, exploitant une couche de *puissance* et d'*inclinaison uniformes* entre deux points distants de *quelques mètres* seulement, le prisme triangulaire de rocher, ABC enlevé soit au toit soit au mur de la veine, pour l'établissement de la voie, offre sensiblement *même composition*, *même épaisseur*, *même dureté*.

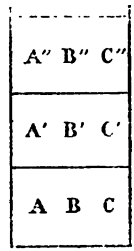
Le premier point à élucider est de déterminer, par tâtonnements, la charge minima d'explosif qu'il convient d'employer pour que la mine *travaille bien*, suivant le terme dont se servent les mineurs ; cette condition est remplie lorsque le prisme ABC est débité sur toute sa longueur en blocs facilement maniables et transportables, car, pour s'épargner la peine de casser à la masse les trop gros cailloux, l'ouvrier demande toujours à l'explosif de briser suffisamment la roche.



Dans un *premier essai*, on introduit dans le four-

neau de mine (n) cartouches d'un explosif quelconque ; on bourre soigneusement la charge avec de l'argile humectée d'eau, *jusqu'à la gueule du trou ;* on fait détoner et on vérifie, après l'explosion, si la mine a *bien travaillé*, au sens défini plus haut : *si oui*, il est légitime de supposer que la charge employée n'est pas la charge minima ; *si non*, elle est insuffisante et n'est pas en rapport avec la résistance du prisme de rocher ABC.

Dans le *premier cas*, on fore une seconde mine dans la bande de terrain A'B'C' faisant immédiatement suite



à la première et on emploie (n - 1/2) cartouches ; après détonation, si l'explosion a débité le caillou en blocs de trop grosses dimensions, on peut estimer que la charge convenant au prisme ABC est comprise entre (n) et (n - 1/2) cartouches, pour un mode d'emploi déterminé, c'est-à-dire avec un bourrage serré sur toute la hauteur disponible.

On fait alors une *troisième expérience*, en bourrant *incomplètement* (n), cartouches placées dans un trou de mine foré dans la prisme A''B''C'' ; on constate alors que le rendement n'est plus le même et que, pour que la mine *travaille bien*, *il est nécessaire d'augmenter la charge d'explosif.*

Si nous insistons sur le *principe* même de la méthode comparative dont nous avons fait usage, c'est que cette détermination préliminaire de la valeur de la charge est *indispensable* pour juger de l'influence sur l'effet utile d'une variation dans le mode d'emploi ; car, l'ouvrier ayant, pour la raison indiquée déjà, tendance à exagérer la quantité d'explosif, on pourrait objecter qu'à rendements égaux la diminution de charge fournie par un mode d'emploi variable *n'est qu'apparente.*

Comparaison des effets utiles.

NUMÉROS des expériences.	NIVEAU d'extraction.	GALERIE d'essai.	LONGUEUR du trou de mine.	NOMBRE de cartouches.	LONGUEUR du bourrage.	HAUTEUR du prisme à soulever.	NATURE du terrain.	EFFET UTILE ET OBSERVATIONS
N° 1	261m	6e voie.	1m,05	3 1/2	0m,70	0m,80	Mur.	La mine a bien travaillé.
N° 2	id.	6e voie.	1m,05	3 1/2	0m,16	0m,80	id.	La mine n'a que soulevé le terrain.
N° 3	340m	1re voie.	1m,52	5	1m,11	0m,85	id.	La mine a bien travaillé.
N° 4	id.	1re voie.	1m,52	5	0m,16	0m,85	id.	Mine ayant donné de gros cailloux.
N° 5	id.	2e voie.	1m,05	4 1/2	0m,70	1m,00	id.	La mine a bien travaillé.
N° 6	id.	2e voie.	1m,05	4 1]2	0m,16	1m,00	id.	La mine a donné de gros cailloux.
N° 7	id.	3e voie.	1m,07	5 1/2	0m,58	0m,95	id.	La mine a bien travaillé (n'a donné qu'un caillou de $0^{m3},030$).
N° 8	id.	3e voie.	1m,07	5	0m,62	0m,95	id.	La mine a donné 4 cailloux de $0^{m3},035$ — $0^{m3},030$ — $0^{m3},040$ — $0^{m3},038$.
N° 9	id.	3e voie.	1m,07	5	0m,20	0m,95	id.	La mine n'a pas bien travaillé : elle a donné 11 gros cailloux de $0^{m3},040$ -- $0^{m3},035$ $0^{m3},042$ — $0^{m3},064$ — $0^{m3},030$ — $0^{m3},035$ — $0^{m3},052$ — $0^{m},030$ — $0^{m3},032$ — $0^{m3},030$ $0^{m3},040$.

Une cartouche représente 83 grammes de dynamite n° 1.

A la suite d'un très grand nombre d'essais pratiques, nous avons pu constater que *cette loi de supériorité* de l'emploi de l'explosif avec bourrage énergique n'est jamais mise en échec : la table ci-jointe où sont consignées quelques données numériques renseignera sur l'augmentation du rendement mécanique de la substance explosive.

Dans les expériences n°s 1, 3, 5, la *charge minima* a été recherchée par la méthode indiquée et trouvée égale à (3 1/2-5-4 1/2) cartouches, en employant un bourrage complet ; le tableau montre qu'en conservant la même charge, et ne la recouvrant que d'une hauteur de bourre comparable à celle que les mineurs ont l'habitude de mettre, *le rendement n'est plus le même.*

Les expériences n°s 7, 8 indiquent les tâtonnements nécessaires pour fixer la valeur de la charge minima et font ressortir, par l'énorme proportion de blocs de grosses dimensions que donne le sautage de la mine (9) imparfaitement bourrée, l'avantage que l'ouvrier retirera d'un tassement soigné et complet.

Résumé. *En résumé,* nous pouvons affirmer que l'accroissement de rendement des explosifs, provenant d'un bon bourrage, est justifié aussi bien par une grande quantité d'essais pratiques que par les expériences théoriques au cube de plomb.

On peut compter, en se servant de la dynamite n° 1 gélatinée avec laquelle nous avons opéré, sur une *économie de 10 p. °/₀.*

§ II

INFLUENCE DU BOURRAGE SUR LA LONGUEUR DE FLAMME DE LA DÉTONATION

L'analyse des résultats exposés dans la première partie de cette note devait amener à se demander si le

bourrage, en augmentant l'effet utile de l'explosif, *ne diminuait pas ses dangers*. D'après la théorie développée par la *Commission des substances explosives*, la quantité de chaleur que conservent les gaz de l'explosion est d'autant plus faible que le travail mécanique produit est plus considérable ; il est donc naturel de penser qu'un bourrage complet doit atténuer la flamme accompagnant le sautage. Il est facile de recueillir dans une mine un grand nombre d'observations, de les grouper et de chercher si on ne peut trouver la loi qui régit, dans la majorité des cas, les phénomènes de la détonation.

Les *galeries en direction* creusées dans les terrains qui encaissent la couche sont certainement les plus dignes de fixer l'attention à ce point de vue : car, c'est principalement dans les voies secondaires desservant des chantiers grisouteux en déhouillement que le tirage des mines offre le maximum de danger.

En se plaçant à une distance convenable du fourneau, l'observateur peut, sans s'exposer, noter les particularités de l'explosion.

Des éléments très variables, pour un même mode d'emploi des explosifs, influent sur les résultats ; les principaux qu'il convient de considérer sont :

1° *La nature de la roche à soulever ;*

2° *Les hauteurs comparées du bourrage et de la charge ;*

3° *La position du fourneau de mine par rapport à la surface de rocher la plus dégagée.*

1° Nature de la roche.

Plus le terrain que doit emporter l'explosif est *feuilleté, argileux, schisteux*, plus les gaz de l'explosion, en parcourant les innombrables carneaux qui représentent le vide existant entre les lamelles de la roche brisée, se refroidissent rapidement et complètement.

Au contraire, plus la roche est *compacte*, *dure*, voisine de la texture *des grès*, plus les blocs que débite la détonation sont de fortes dimensions, plus la surface refroidissante offerte aux gaz est amoindrie.

On peut dégager des observations faites *les lois suivantes :*

1° Murs moyennement durs.

Dans les murs *moyennement durs*, l'influence de l'augmentation de hauteur de bourrage est très sensible au point de vue de l'extinction de la flamme : sur *trente-huit* expériences faites avec *bourrage complet* dans des terrains de cette nature, la détonation n'a produit de la flamme *que 5 fois seulement ;* — sur *trente* essais dans les murs des mêmes veines, avec bourrage *incomplet*, *treize fois* l'explosion a été accompagnée d'une projection de flamme.

L'augmentation de sécurité créée par le premier mode d'emploi de l'explosif, dans des chantiers grisouteux, serait donc de 30 p. °/₀.

2° Murs durs.

Dans les murs dont la texture et *la dureté* sont presque *celles des grès*, l'explosif bien bourré continue à donner un rendement plus fort, mais les gaz de la détonation n'arrivent presque jamais à se refroidir suffisamment au contact des gros blocs fournis par l'explosion : sur *onze expériences* faites dans des roches dures, *huit fois* nous avons remarqué des flammes assez fortes.

Il n'est pas inutile d'observer qu'on déterminait toujours, au préalable, dans chaque série d'essais alternatifs de bourrages complets et incomplets, la *valeur de la charge minima ;* cette précaution était indispensable pour rendre légitimes les comparaisons ; en effet, un excès de poudre employée avec un bourrage incomplet aurait donné un épanchement de flamme qu'on aurait attribué à tort à l'insuffisance du tassement.

II.— *Hauteurs comparées du bourrage et de l'explosif.*

Il est évident, *a priori*, que cet élément a une grande importance au point de vue des dangers créés par la détonation : il ne suffit pas que la bourre surmontant l'explosif remplisse totalement la cavité du fourreau de mine, il faut encore qu'il y ait un certain rapport entre la profondeur du trou (H) et la hauteur (h) occupée par le bourrage.

En se reportant à nos expériences de mines forées dans des roches, de *dureté moyenne*, du mur ou du toit, primitivement dégagées par l'enlèvement de la couche qu'elles encaissent, on trouve le rapport

$$\frac{h}{H} = 70 \text{ p. } \%.$$

Il convient néanmoins d'observer QUE CE CHIFFRE EST LOIN D'OFFRIR UNE DONNÉE GÉNÉRALE, et ne s'applique qu'à un *cas très particulier*. En effet, dans les *travers-bancs* creusés à la perforation mécanique à travers des terrains compacts et d'une grande dureté, — dans le percement des plancs inclinés ou des voies d'exploitation, lorsque la couche, disparaissant, est remplacée par une zone rocheuse, stérile, les trous situés au centre de la galerie *reçoivent nécessairement une forte charge*, dont l'explosion assure le dégagement des fourneaux voisins. Or, dans ce cas, le rapport $\frac{h}{H}$ ne peut atteindre 70 p. % : qu'il nous suffise, pour fixer les idées, de citer un exemple fourni par le sautage de 4 mines *d'empiétage*, forées dans une galerie creusée à travers *des grès très durs*.

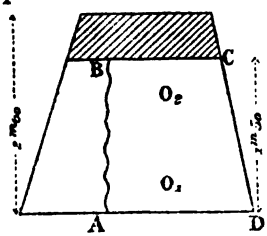
NUMÉROS des mines.	PROFONDEUR du trou.	CHARGE de dynamite-gomme.	HAUTEUR du bourrage complet.
1	1m,00	0k,400	0m,500
2	1m,00	0k,400	0m,500
3	1m,05	0k,400	0m,550
4	1m,10	0k,400	0m,600

Dans ces quatre expériences, le rapport de la hauteur du bourrage à la longueur du trou de mine est, au *maximum*, de 54 p. °/₀.

Les chiffres précédents, qui n'ont d'ailleurs rien d'absolu, montrent que la valeur de $\frac{h}{H}$ ne peut être la même dans tous les cas et *se trouve comprise entre certaines limites.*

La sécurité croîtra avec ce rapport : aussi, quand les exigences de la pratique s'y prêteront, aura-t-on avantage, à ce point de vue, à rendre $\frac{h}{H}$ le plus grand possible.

Ainsi, par exemple, dans le creusement des plans inclinés établis dans une couche de faible puissance, ou, dans la traversée, sur une voie principale, d'un gîte aminci : il vaudra mieux fractionner le travail qu'on demande à l'explosif et attaquer le front ABCD



par deux mines (O_1—O_2), de charge moyenne, plutôt que de faire sauter la totalité du prisme ABCD par une mine unique fortement chargée. Le *prix de revient* de creusement sera *un peu plus élevé*, mais le degré de sécurité réalisée sera augmenté.

En résumé, une mine courte recevant une forte charge d'explosif sera plus dangereuse qu'une mine longue, moyennement chargée.

III. — *Position du fourneau de mine par rapport à la surface la plus dégagée.*

Il semble, *a priori*, que les résultats présentés pour le sautage des coups de mine dans les terrains moyennement durs *du mur* d'une veine soient susceptibles d'être généralisés : l'expérience démontre le contraire. Sur dix-sept essais faits *dans des toits schisteux*, en bourrant la charge jusqu'à la gueule du fourneau, *seize fois* on a aperçu de la flamme.

Ce résultat, qui paraît anormal, nous semble justifié par la raison suivante : le travail d'un explosif peut être décomposé par la pensée en deux *phases distinctes :* 1° période de *disjonction des parois de la roche* produite par la subite expansion des gaz de la détonation, — 2° *période de projection* des fragments de la roche broyée. Or, ces deux phases ne s'accomplissent pas dans les mêmes conditions pour des fourneaux de mine placés *au mur ou au toit.*

Au mur, les gaz après avoir brisé le terrain le projettent en le soulevant ; *au toit*, la roche disjointe, broyée, tombe par son propre poids. *Au mur*, les blocs de terrain, après avoir été lancés, retombent immédiatement ; *au toit*, ils découvrent et dégagent le foyer de l'explosion sans fournir aux gaz de la détonation une surface de refroidissement suffisante. La *conséquence* à tirer de cette observation, c'est *qu'à égalité de dureté* il sera préférable, au point de vue de la sécurité, d'enlever le prisme de rocher du mur quand les galeries seront creusées dans une veine grisouteuse.

CONCLUSIONS

I. — Un *bourrage complet augmente l'effet utile des explosifs* et l'économie réalisée se chiffre par une somme qui est loin d'être négligeable quand on fait sauter journellement un grand nombre de mines.

II. — Les intérêts de l'exploitant sont en cela d'accord avec son désir constant d'arriver à *augmenter la sécurité* dans l'emploi des explosifs, car, dans bien des cas, les dynamites ordinaires convenablement bourrées ne donnent pas de flamme en détonant.

Malgré tous les soins apportés au bourrage, la sécurité n'est malheureusement pas toujours obtenue : les mines forées dans des terrains *durs*, *compacts*, au *toit des veines*, de *faible longueur* et *de forte charge*, *sont particulièrement dangereuses*.

La solution de cette difficile question réside dans l'emploi des *explosifs de sûreté*, pour lesquels, comme pour les dynamites ordinaires, les *conclusions* de la Commission des substances explosives gardent toute leur valeur ; c'est pourquoi nous ne saurions mieux terminer cette note qu'en rappelant ici la règle générale pour l'emploi des explosifs dans une mine à grisou, formulée ainsi par le rapporteur :

« *Toutes les conditions qui tendent à diminuer le* « *travail utile de l'explosif, telles que l'absence de* « *bourrage, ou un bourrage insuffisant..... doivent* « *être évitées avec le plus grand soin.* »

M. le Président. — Je remercie M. François de ses deux communications si intéressantes, et je vous demande la permission, Messieurs, de remercier également toutes les Compagnies qui ont bien voulu prendre l'initiative d'essayer sur place ces explosifs et faciliter ainsi les travaux de la Commission. (*Applaudissements.*)

M. le Président donne ensuite la parole à M. *Barthélemy*, ingénieur conseil de la Société française des poudres de sûreté.

M. Barthélemy. — Je vous demande, Messieurs, la permission d'ajouter quelques courtes observations au rapport si remarquable de M. Mallard sur *le rôle des explosifs en présence du grisou.*

La question des explosifs prend une importance toute particulière dans les houillères qui contiennent du grisou, et on comprend que la plupart des gouvernements de l'Europe aient constitué des Commissions pour étudier tout ce qui se rattachait à ce problème considérable.

Les premières recherches faites à ce sujet ne paraissaient pas de nature à conduire à une solution favorable.

En France, une Commission instituée par la loi du 26 mars 1887 émettait l'avis, en 1880, que la température d'inflammation du grisou étant de 6 à 700 degrés, il n'existait aucun explosif dont la température de détonation fût inférieure à ce chiffre.

En Angleterre, en Allemagne, en Autriche, des Commissions, formées un peu après la Commission française, arrivaient, de leur côté, dans la première série de leurs recherches, à des résultats peu concluants, et si elles faisaient connaître des dispositions intéressantes, comme la cartouche à eau de Sir F. Abel, l'amorce de friction du L. Colonel Lauer, elles ne donnaient cependant pas d'indications précises pour arriver à la solution de la question.

Ce n'est que dans les derniers travaux de ces Commissions, en particulier dans les publications faites en 1888, par la Commission française et dans celle plus

récente encore faite par la Commission allemande, que la possibilité d'obtenir des explosifs qui n'enflamment pas le grisou semble démontrée.

Que s'était-il donc passé depuis la publication du rapport de 1880? Deux faits importants. MM. Mallard et Le Châtelier avaient découvert ce phénomène singulier qui consiste dans le retard à l'inflammation que présentent les mélanges grisouteux détonants et qui fait que ces derniers peuvent ne pas être enflammés par des explosifs dont la température de détonation atteint et dépasse même 2.000 degrés, mais dont les produits de la détonation se détendent et se refroidissent avec une extrême rapidité (quelques millièmes de seconde).

Un ingénieur militaire, M. Favier, avait fait connaître, de son côté, une nouvelle classe d'explosifs qui présentent des différences notables avec les composés employés jusqu'à ce jour dans l'industrie des mines, formés non plus par des espèces chimiques définies dont on ne peut modifier la composition, mais par de simples mélanges que l'on peut associer en proportions convenables. Ces nouveaux explosifs peuvent produire exclusivement des composés gazeux au maximum d'oxydation comme cela a été constaté pendant les essais de la Commission supérieure des explosifs, dans lesquels on a retrouvé dans la bombe d'explosion exclusivement de l'acide carbonique avec de l'eau à peine teintée en jaune.

M. Favier en avait conclu que ces gaz, en se détendant dans un mélange grisouteux, ne l'enflammeraient probablement pas et cette présomption avait été reconnue exacte expérimentalement par M. Butterfield, chimiste de Miner's Safety Explosive C° qui fabrique ces nouvelles matières en Angleterre.

Des cartouches avaient alors été envoyées à la Commission du Grisou de Neunkirchen, ainsi qu'à la

Commission française du Grisou ; mais comme on ignorait alors à quelles expériences elles devaient servir, ces dernières n'étaient pas exactement appropriées à leur destination.

Les deux Commissions ont fait connaître dernièrement les résultats auxquels elles sont arrivées, la Commission française par deux études publiées en juillet et novembre 1888, la Commission allemande par un mémoire inséré dans le tome 37 du journal officiel des mines (*Zeitschrift für das Berg Hütten und, Salinen Wesen 1889*).

La Commission allemande opérait dans une galerie de la mine Kœnig, de Neunkirchen, et dans des conditions aussi rapprochées que possible de la pratique. On a employé des cartouches qui ont atteint jusqu'au poids de 250 grammes, tirées dans un bloc d'acier doux simulant un trou de mine.

La Commission, dans son rapport, range les explosifs en trois classes : 1° ceux qui déterminent régulièrement une explosion ; 2° ceux qui déterminent de temps à autre une explosion ; et 3° ceux qui ne déterminent jamais d'explosion.

Dans cette dernière figurent seulement la carbonite, la cartouche à eau et les explosifs Favier. Relativement à ces derniers, les conclusions de la Commission sont très nettes : Elles reconnaissent qu'ils n'ont jamais enflammé le mélange le plus dangereux d'air, de grisou, avec poussière de charbon, lorsque l'on faisait usage d'un léger bourrage et que ce résultat avait été obtenu avec le type n° 4, *même sans bourrage*.

La Commission française, instituée par un arrêté du 12 février 1887, avait pensé qu'il était préférable de se placer dans des conditions parfaitement définies, en conduisant ses recherches comme une véritable étude scientifique ; à cet effet, elle faisait détoner les ex-

plosifs à étudier dans une chambre bien close, une chaudière de 10 mètres cubes environ.

Ces dispositions, si elles permettaient d'étudier complètement les conditions de la détonation des explosifs à l'air libre, avaient cependant l'inconvénient de limiter le poids de la charge à employer, et, en outre, comme on le verra, de rendre difficiles les expériences sous une densité de chargement un peu forte.

Les recherches de la Commission française ont pleinement confirmé les conclusions auxquelles la Commission allemande était arrivée en ce qui touche la poudre de mine, la dynamite n° 1, la dynamite à l'ammoniaque, le coton-poudre, la dynamite-gomme et la dynamite-gélatine, substances qui enflamment toujours le grisou.

Elle a même constaté que la dynamite-gomme, sur laquelle on avait d'abord fondé quelques espérances, en raison de ses propriétés très brisantes, était au contraire l'explosif le plus dangereux pour les mines à grisou.

Dans le rapport n° 55, du 5 juillet 1888, la Commission a également constaté que l'addition à la dynamite d'un poids égal de matières étrangères, comme le carbonate et le sulfate de soude cristallisés, l'alun ammoniacal, le chlorhydrate d'ammoniaque, rendait le mélange sans action sur le grisou et qu'une proportion moindre de poussière de houille conduisait au même résultat. Ce qui justifie le résultat obtenu par la Commission de Neunkirchen avec la carbonite qui n'est qu'un mélange de dynamite avec des substances hydrocarbonées.

Enfin, qu'il en était de même du mélange de 20 p. °/₀ de dynamite avec du nitrate d'ammoniaque, mais sans addition d'une matière combustible pour utiliser l'excès d'oxygène du nitrate.

Sous cette forme, on est obligé de le reconnaître, la solution du problème n'est ni rationnelle ni économique.

Les substances étrangères volatilisées au moment de la détonation, empruntent naturellement la chaleur nécessaire aux gaz produits par l'explosif nitré, ce qui réduit à la fois leur température et la pression qu'ils développent ; de même pour le nitrate d'ammoniaque qui donne naissance à une pression notablement inférieure à ce qu'elle serait si on utilisait toute l'énergie qu'il pourrait fournir en lui ajoutant une matière combustible en quantité convenable.

Les choses se passent comme si l'on faisait exécuter préalablement à l'explosif une certaine quantité de travail, ainsi que l'a reconnu, du reste, la Commission, en faisant détoner l'explosif à étudier dans des tubes métalliques qu'il devait volatiliser avant d'agir sur le mélange détonant.

Dans ces conditions, la dynamite n° 1 n'enflamme plus le grisou lorsque l'on fait usage de tubes en étain de $25^{mm}/40^{mm}$. La chaleur transformée en travail par la désagrégation du tube et par la projection des fragments est dans ce cas de 0,37 de la chaleur totale, c'est-à-dire, d'après MM. Mallard et Le Châtelier, un peu plus de la moitié de la transformation que la détente des gaz chauds provenant de la détonation de la dynamite complètement bourrée dans un espace clos, serait théoriquement capable de produire.

Dans les deux séries d'expériences de la Commission, tout se passe comme si on avait réduit la puissance des explosifs expérimentés dans une proportion bien déterminée, variable pour chacun d'eux.

Il serait incontestablement rationnel de préparer directement des explosifs ayant la puissance convenable

si le problème n'était pas susceptible d'une solution plus rationnelle.

La Commission y arrive du reste dans le rapport n° 60, où, après une simple excursion dans les théories précédentes, avec le nitrate de cuivre ammoniacal, elle entre résolument dans l'emploi aux explosifs formé par le nitrate d'ammoniaque associé avec la naphtaline, la mononitronaphtaline, c'est-à-dire avec des hydrocarbures naturels ou nitrés.

Mais elle n'a pas attaché une importance suffisante à la question de la densité du chargement, ce qui était, du reste, difficile dans les conditions où elle opérait.

Les cartouches remises à la Commission de Neunkirchen étaient formées, pour les n°s 1, 2, 3, de nitrate d'ammoniaque enrobé de mononitronaphtaline pour la partie comprimée et avec la dinitrobenzine pour le détonateur; dans le type n° 4, le nitrate de soude était associé au nitrate d'ammoniaque dans la cartouche comprimée.

Ces dernières avaient, par suite une force notablement inférieure aux autres, et se rapprochaient, par conséquent, des mélanges étudiés par la Commission française dans le rapport n° 55.

Aussi, elles n'ont jamais enflammé le grisou, même sans bourrage, ce qui confirme bien les résultats obtenus; mais dans ces cartouches, la diminution de force était compensée par une diminution équivalente du prix de revient.

La Commission allemande, en même temps que les types 1, 2 et 3, avait étudié, sous le nom de roburite, un mélange de nitrate d'ammoniaque et de binitrobenzine sans trace de chlore sous forme pulvérulente, et elle l'avait classé parmi ceux qui enflamment toujours le grisou, tandis que les explosifs Favier qui contenaient

ce même mélange, comme détonateur, ne l'avaient jamais enflammé.

La raison de cette anomalie apparente est facile à donner : le détonateur des types 1, 2 et 3 avait à pulvériser la cartouche solide qui l'enveloppait et à porter les débris à la température de détonation ; il se trouvait donc dans des conditions analogues à celle de la dynamite détonant dans un tube d'étain, et la température de ses gaz, après avoir produit un travail *utile*, était suffisamment abaissée pour ne plus enflammer le grisou.

Quant à la cartouche comprimée, elle avait été amenée à une densité d'environ 1,6 et la densité du chargement, dans le trou de mine, était par suite considérable.

Or, si on veut bien se reporter à l'équation 7 de la note B de MM. Mallard et Le Châtelier (rapport 55) sur la quantité de chaleur qui peut être transformée en travail par la détente adiabatique d'un gaz

$$\text{Log.}\ \frac{P}{Po} = \left(1 + \frac{a'}{AR}\right) \text{Log.}\ T + M\,\frac{2b}{AR}\,T - \left[\left(1 + \frac{a'}{AR}\right) \text{Log.}\ To + M\,\frac{2b}{AR}\,To\right] \quad (7)$$

on reconnaît immédiatement que le rapport $\frac{P}{Po}$ diminue quand la densité de chargement augmente et il en résulte que la température finale T diminue également, le deuxième terme du second membre de l'équation restant invariable.

La densité du chargement a donc un intérêt qui n'a pas échappé à la Commission française, mais auquel elle n'a pas attaché assez d'importance, puisqu'elle permet à une matière explosive qui, à l'état pulvérulent, enflamme un mélange détonant, d'être sans action

sur lui lorsqu'elle est à un état de compression convenable.

Il y a donc lieu de recommander cette forme pour les mines à grisou, tout en prenant les précautions voulues pour obtenir une détonation certaine, ce qui est toujours possible en employant un détonateur suffisant et en conseillant en outre de faire usage d'un bouchage solide, en particulier de celui au plâtre.

Dans ces conditions, la solution du problème important que nous venons d'étudier sera certaine.

M. Barthélemy complète ces considérations purement théoriques par des explications d'où il résulte que les explosifs Favier, dont la fabrication et la vente ont été autorisées en France par décret du 15 août dernier, ne seront pas livrés par l'Etat à un état de densité suffisante pour pouvoir être employés directement dans les mines. C'est la Société française des poudres de sûreté qui sera chargée de ce soin et qui le livrera au commerce dans l'état convenable.

M. Barthélemy ajoute que si la protection de la vie des ouvriers mineurs a une extrême importance, celle des ouvriers qui fabriquent et manipulent les explosifs en a une tout au moins égale. Même en admettant que les diverses dynamites mélangées au nitrate d'ammoniaque se comportent en présence du grisou aussi bien que les explosifs Favier, il faut évidemment donner la préférence à celui des deux explosifs qui offre le moins de danger dans la fabrication et le transport. Or, on ne peut nier que les explosifs contenant de la dynamite ne soient toujours dangereux, tandis que ceux auxquels on a donné le nom de « poudre de sûreté » sont d'une innocuité absolue, ainsi que l'ont prouvé les nombreuses expérionces officielles entreprises tant en France qu'en Belgique et en Allemagne.

De plus, ils coûtent moins cher que les composés con-

tenant de la dynamite, et enfin ils sont absolument insensibles à l'action de la température, tandis que les explosifs contenant une proportion quelconque de dynamite sont susceptibles de geler et de se décomposer, comme l'a bien fait remarquer M. Mallard dans son remarquable rapport.

M. Mallard. — Je voudrais dire un mot seulement : je suis heureux des observations que nous a communiquées tout à l'heure M. François, qui sont fort intéressantes ; il a parlé du bourrage, mais la Commission des substances explosives s'en est aussi occupée et j'en ai parlé dans mon rapport, mais il y a un inconvénient à la densité de chargement excessive, c'est qu'on tombe sur des substances qui ne détonent pas, ce qui est pour une substance détonante le plus grave des inconvénients *(Rires)*.

M. Arnould. — M. Mallard en citant quelques chiffres puisés dans la statistique des accidents survenus dans les charbonnages de Belgique de 1831 à 1888, que j'ai eu l'honneur de lui remettre, a fait remarquer une certaine aggravation dans les accidents causés par le grisou, qu'il attribue presque uniquement à l'emploi des explosifs. Je ferai observer, en ce qui concerne ces accidents, que la diminution a été très rapide pour les quatre premières périodes décennales ; on remarque cependant, pour les deux périodes suivantes, un relèvement du nombre des victimes ; ce fait provient des accidents dus à des dégagements instantanés d'une grande violence qui ne se sont produits qu'à partir d'une époque relativement récente et dont le nombre a suivi une progression constante à mesure que les exploitations ont augmenté en profondeur. Je fais cette observation parce qu'il faut rendre à César ce qui lui

appartient et au grisou et au dégagements instantanés ce qui leur appartient. L'honorable M. Haton m'a demandé si nous avions fait quelque chose en Belgique. Il y a eu une installation créée récemment, due à l'initiative de la Société charbonnière des produits à Flénu (Hons), et de M. Muller qui représente en Belgique le brevet de la *grisoutite*. On a expérimenté diverses poudres ; je n'ai pas suivi toutes ces expériences, j'ai assisté seulement à quelques-unes d'entre elles ; je dois dire qu'elles étaient fort intéressantes. Je réserve mon opinion jusqu'à ce que nous ayons fait des essais officiels, ce que j'espère réaliser d'ici à peu de temps. Les expériences dont il s'agit ont prouvé qu'avec la poudre noire il se produit des explosions d'une façon continuelle ; elles ont corroboré les principaux faits que M. Mallard nous a rappelés.

Quant à la grisoutite, elle se comporte bien dans des mélanges grisouteux et aussi dans des mélanges chargés de poussières.

En ce qui concerne les essais que nous nous proposons d'entreprendre, nous pensons qu'il faut expérimenter dans les circonstances *les plus pratiques ;* nous ne croyons pas devoir répéter les expériences si complètes, si belles et si théoriques à la fois que la Commission française des poudres a réalisées récemment. Nous estimons que le volume de la charge, la densité, comme aussi la température du milieu dans lequel on enflamme l'explosif, ont une très grande importance ; il faut aussi faire intervenir les poussières.

Il est encore un point sur lequel j'appelle l'attention du Congrès, c'est la nécessité de n'expérimenter que des explosifs parfaitement connus, dont la composition ne varie pas ; il en est plusieurs sur la composition desquels on n'est pas fixé et malheureusement cette variation dans la composition des poudres donne des

résultats excessivement fâcheux, car il arrive que des expériences qu'on entreprend d'un côté ne sont pas confirmées de l'autre, que les résultats d'une Commission sont en désaccord avec ceux d'une autre Commission. Je dirai en outre qu'il en résulte un danger énorme par suite de la confiance qu'inspire à l'exploitant un type donné, type qui, dans les essais, a parfaitement réussi et qui, en pratique, donne lieu à des inconvénients, voire même à des accidents.

Je vous demande la permission de vous citer un exemple : Nous avons eu un triste accident dans le bassin de Liège tout récemment : trois mineurs étaient occupés dans une galerie à charger une mine avec une poudre à base de nitroglycérine. Cette poudre avait parfaitement agi aux essais ; elle est admise par les chemins de fer de l'Etat pour voyager dans les conditions ordinaires. Elle avait résisté partout. Or, il se trouve qu'en bourrant, la charge fait explosion et deux mineurs sont tués. Or, l'enquête a établi que la poudre renfermait une certaine quantité de picrate ; on a voulu la renforcer et l'accident a été attribué à ce fait.

Messieurs, je crois qu'en cette matière, comme en d'autres du reste, on veut aller trop vite ; autrefois, nous n'avions que les trains ordinaires ; on y a substitué les express ; maintenant, c'est le train rapide ; gare aux déraillements ! *(Rires.)* On a employé la poudre ordinaire, on lui a substitué la poudre comprimée et puis la dynamite ; il faut encore plus fort ! Mais, mon Dieu, on a marché assez longtemps avec la poudre ordinaire, ne peut-on pas aujourd'hui chercher un peu de sécurité en réduisant la force des explosifs ? J'insiste vivement sur ce point important. *(Assentiment.)*

M. Mallard. — Je demanderai à répondre un mot à ce que vient de dire M. Arnould. Je suis d'abord en-

chanté qu'il veuille bien m'appuyer dans la demande que j'ai faite d'une manière instante, que les fabricants d'explosifs veuillent bien donner la composition exacte de leurs produits. La loyauté du commerce l'exige absolument et je demanderai que la Commission belge veuille bien rejeter absolument de ses expériences tout explosif dont la composition ne lui sera pas connue. Toute expérience faite sur un explosif dont la composition est inconnue est dangereuse ; elle ne sert à rien d'abord et ensuite elle donne confiance dans une substance absolument inconnue et dont la nature peut changer au gré du fabricant sans que rien en avertisse.

Il faut que toutes les Commissions officielles, et c'est un petit reproche que je ferai à la Commission prussienne qui ne donne pas toujours la composition de ses explosifs, s'accordent pour rejeter absolument tout explosif dont la composition ne sera pas absolument définie.

M. *Arnould.* — Nous sommes du même avis.

M. *Mallard.* — Encore un mot pour répondre au reproche que m'a fait M. Arnould; je n'ai jamais voulu charger exclusivement la poudre noire de l'aggravation constatée dans le nombre des accidents causés par le grisou. Les causes de danger ont certainement augmenté et expliquent simplement cette aggravation. Mais je crois que l'art de l'ingénieur doit augmenter aussi et même plus vite que les dangers eux-mêmes et qu'il est absolument indispensable que nous ne restions pas dans cette situation, à savoir que tous les accidents diminuent, tandis que les accidents causés par le grisou seuls vont en augmentant. (*Approbation.*)

M. le Président. — M. Chalon a demandé la parole.

M. Chalon. — Messieurs, le sujet me semble bien près d'être épuisé, je me bornerai à vous dire quelques mots sur l'emploi des explosifs dans les mines à grisou et à vous présenter quelques observations qui ne me semblent pas avoir été signalées jusqu'à présent.

En général tout explosif susceptible de projeter des particules incandescentes est à rejeter dans les mines à grisou.

Ce principe est basé sur le fait bien connu qu'il suffit de porter un point d'un mélange grisouteux en contact avec une flamme, une étincelle ou un charbon incandescent pour provoquer l'explosion ou la combustion de ce mélange.

Il est très probable que dans un nombre de cas c'est le contact d'une matière enflammée qui met le feu au grisou plutôt que l'échauffement proprement dit; et ce qui le prouve, c'est que le formène, qui constitue la partie principale de grisou, est l'un des gaz combustibles les plus difficiles à enflammer. Il faut même, comme le dit M. Le Châtelier, qu'il soit maintenu pendant un certain temps à sa température normale d'inflammation (650 degrés) pour que celle-ci se produise.

Je considère donc que l'on résoudra le problème du meilleur des explosifs pour les mines à grisou en recherchant ceux d'entre eux qui, par la détonation, ne donnent que des produits gazeux incombustibles tels que Az, CO^2, HO.

En outre, et comme conséquence de ce qui précède, il faut toujours se garder d'effectuer un bourrage de mine avec des substances susceptibles de s'enflammer ou de se scorifier par contact avec les gaz chauds de l'explosion.

C'est ainsi que l'on ne doit jamais se servir de poussier de charbon, comme on le fait malheureusement trop souvent. L'argile légèrement humide constitue

un excellent bourrage, elle agit comme les bourres et cartouches à eau, quoique d'une façon moins complète, en refroidissant les particules trop chaudes lancées par l'explosion de la mine.

J'ajouterai encore qu'il serait bon de supprimer, toutes les fois qu'il est possible de le faire, les enveloppes de papier des cartouches, car j'estime que leur inflammation, même partielle, peut mettre le feu au grisou.

Je me résumerai en disant : *il faut faire en sorte, dans les mines à grisou, que ni l'explosif ni le bourrage ne contiennent des matières susceptibles de s'échauffer jusqu'au point de devenir incandescentes.*

Quels sont les explosifs répondant à cette condition ?

La poudre noire doit être immédiatement écartée. De même pour les dynamites à la silice, au charbon, à la mine de bois, à la farine, au sucre, au tripoli, au mica, etc., etc., et les nombreuses autres du même genre qui toutes renferment des matières non volatilisables et pouvant être projetées hors du trou de mine à l'état de particules enflammées ou incandescentes.

Les nitrogélatines qui sont composées de nitroglycérine, de nitrocellulose et d'une faible quantité de nitrate, particulièrement de nitrate d'ammoniaque, ou de chlorate, sont moins dangereuses. Enfin, la dynamite-gomme l'est encore moins, car s'il est vrai que sa température de détonation soit plus élevée que celle des précédentes, il est incontestable que les matières qui entrent dans sa composition sont volatilisables ou à peu près.

A tout prendre, la dynamite-gomme est donc préférable aux autres dynamites dans les mines grisouteuses. La pratique le prouve aussi bien que la théo-

rie, et le fait est bien connu dans les charbonnages belges, allemands et anglais.

Pour atténuer le danger résultant de l'emploi des dynamites, on a cherché à diminuer la quantité de chaleur qu'elles dégagent en explosant. C'est ainsi que l'on a fabriqué les dynamites à l'ammoniaque, les grisoutites, etc.

Or, il est clair que si l'on diminue la quantité de chaleur produite on diminue l'énergie de l'explosif, celle-ci étant fonction de la chaleur dégagée et du volume de gaz développé.

Voici, par exemple, la grisoutite. C'est une dynamite ordinaire à laquelle on a ajouté une certaine proportion de carbonate de magnésie. On l'a beaucoup expérimentée en Belgique, j'ai même lu des rapports la présentant comme l'unique explosif sans flamme, mais les mineurs ne sont généralement pas de cet avis et ceux qui l'ont essayée n'ont pas tardé à l'abandonner après être arrivés à cette constatation : que le mélange qui donne le moins de flamme n'a plus d'énergie, et que la flamme reparaît dès que l'on augmente la dose de dynamite dans le but d'accroître la force.

On peut remplacer le carbonate par le sulfate de magnésie ou encore par le carbonate ou le sulfate de soude ou en général par tout autre sel susceptible d'abandonner à basse température son eau de cristallisation.

Mais, je le répète, tous ces explosifs perdent en force ce qu'ils gagnent en innocuité relative.

N'existe-t-il donc aucun explosif capable de donner une sécurité absolue ? Je n'en connais pas ; cependant, il y en a qui présentent une sécurité relative et ce sont précisément ceux que signale le savant rapport de M. Mallard (page 44).

Parmi eux, il en est un que j'ai expérimenté person-

nellement et que j'ai signalé à l'attention des mineurs il y a près de trois ans; c'est celui de nitrate d'ammoniaque et de binitrobenzine : c'est la *bellite*. Les deux substances dont elle est composée sont absolument inoffensives; elles résistent, soit séparément, soit mélangées, aux chocs et au feu. C'est dire que la manipulation, le transport et l'usage de la bellite ne présentent aucun danger.

Malheureusement, il est impossible de fabriquer de la bellite en France. C'est *un explosif* et la loi du 8 mars 1875 n'a pas prévu qu'il fût possible de faire des *explosifs* autres que la dynamite. Et cependant le rapporteur du projet de loi, M. Gévelot, avait mis en garde ses collègues de l'Assemblée nationale contre les inconvénients qui pouvaient en résulter. Nous lisons en effet dans le rapport présenté par ce député, dans la séance du 14 janvier 1875 : « Le projet du Gouvernement a encore, à notre avis, « le défaut de se borner à la dynamite et de limiter les « progrès en excluant la fabrication et l'emploi de tous « les explosifs nouveaux dont le concessionnaire ou « tout autre inventeur voudrait poursuivre les études « et tenter les essais. Ainsi, lorsque partout on dé- « veloppe l'esprit de recherche et de progrès, il serait « dit que la France s'enferme dans un cercle de routine « et de mesures économiques antilibérales. »

Ce que prévoyait M. Gévelot est arrivé : l'emploi des dynamites proprement dites tend à diminuer partout, mais en France on est obligé et d'en fabriquer et d'en consommer.

C'est pourquoi, et ce sera ma conclusion, je désirerais dans l'intérêt de nos mines et charbonnages que le Congrès exprimât le vœu d'une révision de cette loi dans un sens plus large et moins onéreux, et qu'on permît à nos fabricants de suivre, dans la voie qu'ils

leur tracent, des hommes aussi compétents que MM. Berthelot, Haton de la Goupillière, Sarrau, Mallard, Ledoux, Aguillon et Le Châtelier.

M. le Président. — La question est intéressante, mais en fait de vœu je vous ferai observer que nous sommes en Congrès international, Congrès dont le Gouvernement a pris l'initiative et que des questions exclusivement françaises ne pourraient y trouver place. Je crois donc qu'il faut réserver pour une autre réunion aussi compétente, mais nationale, la question d'un vœu.

M. Chalon. — Je n'insiste pas.

M. Castel. — Ce que vous avez dit figurera d'ailleurs au procès-verbal.

M. Mallard. — Je voudrais comme rapporteur défendre un peu les conclusions de mon rapport et en même temps celles de la Commission des substances explosives. Je ne crois pas pour ma part que les matières pulvérulentes portées à incandescence jouent un grand rôle dans l'inflammation du grisou et ce qui le prouve c'est que toutes les substances que nous avons essayées donnent des résultats meilleurs que les substances, les dynamites, par exemple, que nous avons mélangées avec l'azotate d'ammoniaque. Nous les affaiblissions, dit M. Chalon, pour produire un effet déterminé. Sans doute, c'est ce que nous avons voulu faire; il est clair qu'on les affaiblit un peu pour gagner en sécurité ce qu'on perd en puissance.

Quant à ce que M. Chalon nous dit que la dynamite-gomme est plus sûre que la dynamite, je n'ai pas bien compris le raisonnement au moyen duquel il est arrivé à ce résultat; mais il y a une expérience bien certaine que j'ai citée dans mon rapport. On prend une charge de 50 grammes de dynamite et on la place

dans un tube d'étain de 25 millimètres sur 40, on remplace la même charge par de la dynamite-gomme, elle enflamme alors le grisou tandis que la première ne l'enflammait pas. La démonstration est entière.

Quant à l'influence des particules en suspension, je crois que le papier par exemple ne joue qu'un rôle secondaire ; il est en général projeté avant d'être enflammé.

M. Chalon. — Il ne faut pas confondre les expériences de laboratoire avec ce qui se passe dans les mines ; je suis allé souvent dans les mines et j'ai eu occasion de voir les effets que j'ai signalés. Que M. Mallard aille dans une galerie de mine et qu'il voit de loin l'explosion dans l'obscurité, il se rendra compte de ces incandescences ; ce ne sont pas des gaz, ce sont des particules incandescentes.

M. Mallard. — Nous avons assisté à des expériences intéressantes faites dans les mines par M. François, répétées devant nous, et je ne puis que maintenir les conclusions de mon rapport.

M. Brüll. — Messieurs, au milieu des considérations très élevées qui ont été présentées dans le rapport et aussi dans les différentes communications que vous venez d'entendre, il m'a paru qu'un côté de la question était perdu de vue ou du moins traité d'une façon bien sommaire, eu égard à son importance. On nous indique des moyens de diminuer le danger des explosifs, mais on ne paraît pas s'être beaucoup préoccupé des considérations pratiques qui guident les exploitants dans le choix des explosifs. L'une des plus importantes est certainement le prix ; eh bien ! on nous conseille de mêler aux explosifs des corps comme l'azotate d'ammoniaque. Mais ces corps, et celui-là en particulier, sont généralement coûteux.

M. Mallard. — 80 francs les 100 kilog.

M. Brüll. — Ce corps est d'ailleurs d'un emploi difficile, il n'est pas aisé à conserver étant très hygrométrique, et sur les approvisionnements d'explosif qu'on fera, une partie sera probablement détruite ou altérée, ce qui augmentera la dépense. Je pensais, tout en écoutant ces conseils sur la manière de diminuer les chances d'inflammation du grisou par les explosifs, à un mode plus simple que j'ai eu l'occasion d'employer dans une expérience faite à la mine de Marles (Pas-de-Calais) avec le regretté M. Micha. On avait affaire à des couches un peu dures et les ouvriers craignaient que l'emploi de la dynamite ne brisât le charbon et ne diminuât le rendement de la couche en gros charbon. Pour parer à cet inconvénient, sur le conseil de M. A. Nobel dont j'étais à ce moment le collaborateur, j'ai proposé et aussitôt expérimenté de faire un trou d'un très grand calibre, à peu près 60 millimètres. Ce trou avait dans la houille environ 2 mètres de profondeur et j'y ai placé trois ou quatre cartouches de calibre ordinaire ne se touchant pas et disposées pour que l'une étant amorcée avec une capsule de fulminate les autres s'enflamment par influence. Dans ces conditions on a produit un abatage avantageux et le charbon n'a pas été brisé. Cette expérience a paru intéresser les mineurs. Je ne sais s'ils ont eu par la suite l'occasion d'appliquer ce procédé, mais n'y aurait-il pas, d'après les indications théoriques qui ont été données, dans cette façon d'employer l'explosif, auquel on demande un travail à l'intérieur même du trou de mine, avant son expansion au dehors, un affaiblissement de la température des gaz, par conséquent une diminution des chances d'inflammation du grisou.

Je voudrais présenter une seconde observation, c'est au sujet des amorces. J'ai été frappé de l'indication qui

vient d'être fournie que le Gouvernement fabrique en ce moment, au moins à l'état d'expérience, des cartouches d'une certaine composition du poids de 50 grammes qui exigent des capsules de fulminate de mercure à deux grammes, c'est-à-dire d'un 25e du poids de la cartouche. Là encore on me paraît avoir fait abstraction presque complète de la dépense ; le fulminate de mercure — j'ai pu me tromper sur la valeur actuelle de l'azotate d'ammoniaque, parce que je ne m'occupe plus d'explosifs depuis quelques années — le fulminate est fort cher. De plus il y a peut-être quelque inconvénient au point de vue de la sécurité, ou compte-t-on sur le travail développé avant l'éclatement par ces deux grammes de fulminate pour que la température d'explosion soit abaissée ? N'y a-t-il pas au contraire dans ce fulminate une cause de danger ? La nature de l'amorce est très importante en matière d'explosifs ; dans une usine de dynamite, en Suisse, il y a pas mal d'années, quand on construisait le Gothard, j'ai eu l'occasion de composer un mélange qui devait présenter à peu près la force de la dynamite n° 1 et qui coûtait fort peu de chose ; c'était un mélange de nitrate de soude et d'un hydrocarbure, je prenais simplement du pétrole ; j'avais fait un mélange sommaire, grossier même, de nitrate de soude et de pétrole ordinaire. Ce mélange avait un premier avantage très considérable, c'est que le kilogramme de l'explosif coûtait 50 ou 60 centimes ; il devait, d'après la quantité de chaleur et de gaz qu'il était apte à produire, donner une grande somme de travail, mais je ne pouvais pas le faire partir ; j'ai essayé toutes les capsules de fulminate les plus chargées, les mieux enveloppées de cuivre épais et je n'ai pas réussi à faire détoner ce mélange ; cependant j'ai pu y parvenir plus tard en employant simplement une cartouche amorce de dynamite. Alors je pose cette question : lorsqu'on

est amené pour une raison d'amorçage, comme celle dont je me préoccupe en ce moment, à employer un corps considéré aujourd'hui comme dangereux, très actif, donnant des températures élevées, comme la dynamite, comme le fulminate de mercure, compte-t-on sur le travail que cette cartouche amorce va dégager en provoquant l'explosion de la masse de l'explosif pour abaisser la température au point de supprimer le danger. Je pose cette question parce que, en cas d'affirmative, on pourrait trouver dans des mélanges fort simples, comme celui que j'ai indiqué, des explosifs économiques qu'on pourrait sans danger faire partir avec une amorce d'un poids relativement faible et d'un prix peu élevé.

M. Bruneau. — M. Chalon faisait observer tout à l'heure qu'avec les explosifs dont il est question des particules enflammées étaient projetées dans les galeries; mais avec sa théorie il faudrait presque renoncer à l'emploi des explosifs; cela me paraît être la conséquence de ce qu'il nous a dit. Je ne crois pas que ce soit exact : dans les expériences faites par la Commission des substances explosives nous avons voulu vérifier si la mèche Bickford pouvait enflammer le grisou; eh bien ! jamais on n'a pu allumer le grisou avec une mèche Bickford.

M. Chalon s'est plaint également qu'on ne pouvait pas fabriquer en France des explosifs; c'est vrai : la loi de 1875 qui régit les explosifs ne comprend que la fabrication des dynamites. Pourtant M. Favier a tourné la difficulté et tout le monde pourrait en faire autant; il a proposé un mélange formé de 10 parties de mononitro-naphtaline et 90 parties d'azotate d'ammoniaque; comme la loi s'oppose à cette fabrication, M. Favier avait pris soin de mettre dans ce qu'il appelle le détonateur de la nitroglycérine, 60 p. °/₀ environ, ce qui

représente quelque chose comme 0,5 ou 0,6 p. °/₀ du poids total de la cartouche. C'était un simple procédé permettant de rester dans la loi ; je crois que c'est permis à tous les inventeurs. *(Rires.)*

M. Chalon faisait également observer tout à l'heure qu'il était nécessaire d'empêcher le papier de l'enveloppe d'être projeté dans la galerie, mais les matières pulvérulentes sont plus sensibles à l'amorce, il y a donc avantage à les employer malgré l'enveloppe en papier. M. Brüll nous a signalé aussi qu'en plaçant des cartouches à distance les unes des autres dans un trou de mine qui avait 6 centimètres, je crois, de diamètre, il avait pu obtenir d'excellents effets avec de la dynamite. Seulement je crois que cette expérience retombe précisément dans un cas cité par M. Mallard, que dans ces conditions les gaz se dégagent dans la galerie avec une température supérieure à celle que l'on obtiendrait avec une densité de chargement plus forte et que cela présenterait bien des dangers dans un milieu grisouteux. Pour la composition de M. Brüll, un mélange d'azotate de soude et de pétrole, je dois dire que cela est en partie repris par M. Favier qui a proposé un mélange de naphtaline et d'azotate de soude ; on doit arriver à un résultat à peu près analogue.

M. Mallard. — M. Brüll a parlé tout à l'heure du prix des mélanges explosifs et nous a reproché de n'avoir pas songé à la dépense que cela occasionnerait aux exploitants. Je crois que le reproche n'est pas mérité. Les explosifs à base d'azotate d'ammoniaque peuvent avoir des inconvénients, mais ils ne sont pas chers. On a atteint en somme avec un mélange qui contient 20 p. °/₀ de nitroglycérine seulement, les mêmes effets qu'avec la dynamite, et le prix de la substance est beaucoup moins élevé, car la nitroglycérine ne vaut pas

moins de 2 francs le kilog. et l'azotate ne vaut pas 1 franc. La Société générale actuellement vend le mélange 12 de dynamite-gomme et 88 d'azotate d'ammoniaque 4 fr. 25 le kilogramme.

M. Chalon. — C'est encore 2 francs de trop.

M. Mallard. — 4 fr. 25 avec l'impôt, qui est de 2 francs.

M. le Président. — Personne ne demande plus la parole ?... La séance est levée.

La séance est levée à 5 heures moins 10 minutes.

Séance du samedi 7 septembre 1889.

Présidence de M. Forster.

La séance est ouverte à 2 heures 1/2.

M. Castel, président du Congrès. — Messieurs, avant d'ouvrir la séance, je dois vous communiquer une bien triste nouvelle. Notre estimé collègue, M. Fuchs, qui, avant-hier encore, assistait à nos séances, est mort, cette nuit, d'une congestion pulmonaire. Ce coup subit et inattendu m'a vivement impressionné; je suis convaincu que vous éprouverez le même sentiment douloureux.

M. Fuchs, je crois pouvoir le dire, en mon nom comme au vôtre, emporte tous nos regrets. (*Approbation générale.*)

M. Forster. — Permettez-moi de m'associer aux paroles de douloureuse sympathie que vient de prononcer le Président de notre Congrès sur la perte inopinée de notre regretté collègue M. Fuchs.

En le voyant, avant-hier, si attentif à nos travaux, qui aurait pu croire que la mort était si près de lui ?

J'ai en même temps le regret de vous informer que M. Warrington Smith, président de notre Commission de grisou et invité, comme membre honoraire, à venir prendre part aux travaux du Congrès, ne pourra, pour raison de santé, assister à nos séances.

Je donne maintenant la parole à M. le Secrétaire pour la lecture du procès-verbal de la précédente séance.

M. Witmeur, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la séance du 5 septembre dernier.

M. Mallard. — Je demande la parole non pas sur ou contre le procès-verbal, mais à l'occasion du procès-verbal.

Après vous avoir indiqué, avant-hier, les explosifs qui me paraissent devoir être employés dans les mines, j'ai omis d'insister sur un point qui est de la plus grande importance : c'est que le degré de sécurité, si grand qu'il soit, que peut présenter un explosif, ne doit faire écarter aucune des mesures de précaution usitées jusqu'ici dans les mines pour préserver les ouvriers contre les dangers des explosions. Nous irions contre le but que nous poursuivons si nous donnions à penser que les substances explosives nouvelles doivent changer quelque chose aux mesures de sécurité que l'on a l'habitude de prendre dans les mines.

C'est uniquement pour réparer cette omission que j'ai demandé la parole. (*Applaudissements.*)

M. Barthélemy. — Je voudrais également dire un mot à l'occasion du procès-verbal.

La terrible catastrophe, dont Anvers vient d'être le théâtre, confirme une de mes observations de l'avant-dernière séance, à savoir qu'il ne fallait pas seulement se préoccuper d'une façon générale de la sécurité dans les mines, mais se préoccuper encore des explosifs au point de vue de ceux qui les manipulent et les transportent. C'est un point capital et sur lequel j'appelle de nouveau votre attention. (*Approbation.*)

M. le Président. — Personne ne demande plus la parole ?

Le procès-verbal est adopté.

M. Levet, ingénieur à Chalon-sur-Saône, donne lecture de la communication suivante sur l'emploi de

la cartouche en métal fonctionnant par la pression hydraulique.

En dehors des moyens décrits dans le rapport très intéressant de M. Mallard, beaucoup d'ingénieurs ont fait des essais avec des appareils ne nécessitant pas l'emploi d'explosifs. M. Mathet, ingénieur en chef aux Mines de Blanzy, dont je suis le collaborateur, a fait, depuis 1877, d'abord les essais de mon coin hydraulique, sans résultats sérieux, et après d'autres expériences avec des cartouches en caoutchouc, en plomb, etc., mais toujours sans grands succès, ce qui m'a amené à rechercher un engin pouvant résister facilement à la pression de 1.000 atmosphères et abattre, dans les chantiers ordinaires, avec au moins autant de force qu'avec la poudre.

Ce résultat sera facilement obtenu avec la cartouche, dont je vais vous faire sommairement la description :

Le principe de cette cartouche est l'augmentation en volume partant de 0 pour atteindre un diamètre de 70 millimètres sur une longueur de 1 mètre environ.

Il faut se représenter un tuyau mince de 70 millimètres de diamètre aplati, ce qui porte sa largeur à 100 millimètres, il ressemble alors à un tuyau de manomètre, mais entièrement plat. Ce tuyau, ainsi aplati, sera introduit dans un trou de mine, ayant un diamètre de 100 millimètres, c'est-à-dire de la largeur de la cartouche; le vide laissé par le tuyau aplati sera rempli par un bourrage énergique, comme pour une cartouche de poudre. Un tuyau de petit diamètre réunira la cartouche aplatie à la presse hydraulique, qui se trouve distante d'environ 2 mètres, afin d'être à l'abri des chutes de charbon. On verra que la cartouche aplatie ne laisse presque pas d'espace nuisible à l'intérieur et que, aussitôt le premier mouvement du piston hy-

draulique, la pression nécessaire sera obtenue et dilatera la cartouche jusqu'à ce que le bloc se détache. Cette cartouche a 1 mètre de longueur sur 100 millimètres de largeur, ce qui fait 1.000 centimètres carrés à une pression de 1.000 atmosphères, et, par centimètre carré, donnera une tension de 1.000.000 de kilogrammes pour faire détacher le bloc, effort suffisant pour l'abatage ordinaire. Le temps nécessaire à l'abatage par la cartouche aplatie sera à peu près celui que nécessite la poudre. Mais avec l'avantage d'éviter la fumée, d'obtenir de plus gros blocs, et enfin d'écarter les risques de l'explosion du grisou.

Les Fig. 7, 8, 9 et 10, Pl. XIX, indiquent le détail de la cartouche aplatie dans un trou de mine et la disposition dans un chantier en galerie d'avancement.

M. Mallard. — Avez-vous fait des expériences pratiques ?

M. Levet. — Nous avons fait des expériences sur des cartouches cylindriques en plomb et en caoutchouc.

M. le Président. — Il est très intéressant d'avoir un procédé semblable pour l'abatage de la houille.

M. Castel. — A propos d'une des questions traitées dans l'avant-dernière séance, M. Dinoire m'a entretenu d'un procédé très intéressant de fermeture des lampes de sûreté. Je pense que vous serez bien aise de l'entendre.

M. Dinoire. — Messieurs, dans la séance de mardi, vous avez entendu une communication de M. Janet, ingénieur au Corps des mines, chargé du sous-arrondissement minéralogique de Valenciennes, sur la fermeture des lampes de sûreté ; sur la demande de quelques membres du Congrès, je me permets de vous pré-

senter une courte description d'une fermeture de lampe que j'ai imaginée et qui est employée dans les mines de Lens. — J'y ajouterai quelques indications sur les modifications que nous avons fait subir à la lampe Pieler.

Fermeture « *Rivet de plomb* » système Dinoire, ingénieur aux mines de Lens

La fermeture par *rivet de plomb* qui paraît à première vue demander beaucoup de temps pour s'adapter aux lampes, est, avec le système que nous employons, Pl. XIX, Fig. 11 à 17, d'une application très facile et donne toute satisfaction.

Elle consiste en une petite boîte indépendante, contenant un verrou et un ressort. Lorsque la boîte est placée contre le montant plat de la lampe et rivée avec ce montant, on peut visser et non dévisser. Les deux têtes du rivet portent chacune une lettre imprimée par la pince : c'est le cachet.

L'ouverture s'obtient en coupant le rivet entre le montant et la petite boîte.

Outils :

Une pince pour river à la main.

Un petit coup de poing pour couper le rivet.

Un couteau pour faire sauter les têtes du rivet après le coupage.

Avantages :

1° Rivure après le nettoyage, ce qui permet, en premier lieu, de faire le travail à main reposée et sans précipitation; et, en second lieu, de procéder, le lendemain, à un allumage au dernier moment et à une distribution rapide.

2° Fermeture automatique en vissant pour prévenir tout oubli, volontaire ou non, de la part du lampiste.

3° Serrage contenu jusqu'au *contact complet* du verre et du tissu avec le réservoir ; on évite ainsi l'emploi des rondelles, ou de la bague anglaise, ou bien encore

des ressorts sur le disque du haut du verre, systèmes qui ont de très graves inconvénients.

4° Rivet bien apparent avec têtes éclairées par la flamme de la lampe, placé à l'abri de tout choc et de dépôt de poussières, ce qui rend la *vérification* facile et par un simple coup d'œil : d'abord, par l'ouvrier en acceptant sa lampe des mains du lampiste, puis, par les chefs dans les travaux, et ensuite, par le lampiste principal à la remise de la lampe par l'ouvrier.

5° Fraude impossible ; la boîte s'échappe de la lampe lorsque le rivet est coupé.

6° Application facile et à très peu de frais à tous les systèmes de lampes.

7° Enfin faible entretien de la boîte et de la lampe elle-même qui n'a plus un seul organe de fermeture dans son réservoir.

Lampe Pieler modifiée.

La lampe Pieler est employée comme grisomètre par les agents chargés de faire les dosages journaliers prescrits par les règlements.

La modification porte, non pas sur le mode d'emploi de l'alcool, qui a été imaginé par MM. Mallard et Le Châtelier pour constater les faibles quantités de grisou (1), mais sur la construction de la lampe elle-même au point de vue d'assurer la sécurité dans la mine.

Dans les courants d'air animés d'une grande vitesse, la lampe Pieler primitive ne peut être employée. Elle est, comme la lampe Davy, très dangereuse ; puis l'auréole se couche, se modifie et ne peut plus se mesurer exactement.

Nous y avons adapté une cuirasse, un tissu vissé et une fermeture.

---

(1) *Bulletin de l'Industrie minérale.* — Tome I, 1re livraison 1887.

Sur le tube de la mèche, un arrêt règle le bord supérieur de l'écran à 30 millimètres de hauteur au-dessus de la mèche, puis un verrou placé en équerre sur ce même tube empêche de mettre la cuirasse avant le tissu.

Le tissu a une bague filetée qui se visse sur le réservoir vers l'intérieur.

La cuirasse porte des guichets régulateurs à la partie inférieure pour l'entrée de l'air et à la partie supérieure pour la sortie des fumées. Une échelle de dosage est inscrite derrière la porte dont le bas correspond avec le bord supérieur de l'écran.

La fermeture *rivet de plomb* est placée sur le chapeau pour être bien visible et préservée des coups dans la mine.

En résumé, il y a sécurité par l'adaptation :

1° D'un tissu solidement soudé et rivé à une bague vissée sur le réservoir ;

2° D'une cuirasse de protection qui permet d'étouffer la flamme lorsqu'on ferme les guichets ; disposition utile pour le cas où, en s'introduisant trop avant dans une zone dangereuse, le porteur jugerait que la combustion du grisou devient inquiétante dans le tissu ;

3° D'une fermeture ;

4° D'un système de verrou à ressort qui *oblige* de mettre le tissu avant la cuirasse.

Nota. — Pour obtenir une plus grande sécurité, un second tissu à 225 mailles par centimètre carré peut être vissé dans l'intérieur du premier.

Dans ce cas, le même dispositif servira pour rendre obligatoire la mise du petit tissu dans le grand. *(Applaudissements.)*

M. le Président. — Est ce que la lampe Pieler est employée couramment dans vos travaux ?

M. Dinoire. — Nous ne l'employons pas dans tous les chantiers, mais dans les gisements spéciaux où les veines ne sont plus grisouteuses, et cela pour faire des dosages journaliers. Nous inscrivons ces dosages sur nos registres ; mais, pour la recherche du grisou, nous ne l'employons jamais.

Pour procéder à ces dosages journaliers, dont je vous parlais tout à l'heure, la lampe est confiée à des boute-feux qui s'en servent pour cet usage. Elle est fermée par un verrou dans lequel on met un revêtement de plomb pour qu'on ne puisse pas l'ouvrir.

M. le Président. — L'ordre du jour appelle la discussion de la question relative à l'usage de l'électricité dans les mines.

Je vous demanderai la permission d'intervertir l'ordre du jour et de renvoyer l'examen de cette question, qui porte le n° 3, après la discussion de celle qui porte le n° 4 : question se rapportant à la montée, à la descente et à la circulation des ouvriers dans les mines.

M. Reumaux, obligé de quitter Paris ce soir, pourra ainsi vous présenter quelques observations sur cette question qu'il a si bien traitée dans son rapport.

M. Reumaux. — Messieurs, je commence par remercier M. le Président d'avoir bien voulu vous faire part de la bienveillante impression que lui a laissée mon travail. Je voudrais vous en faire ici un résumé, mais n'ayant pas assez l'habitude de la parole, je vous demande la permission de vous donner simplement lecture des principaux passages de mon rapport.

La lecture que fait M. Reumaux des parties capitales de son remarquable travail est accueillie par de vifs applaudissements.

M. le Président. — Nous remercions beaucoup M. Reumeaux du beau rapport qu'il nous a donné. Nous devons aussi le remercier de nous avoir montré, à l'Exposition, nombre de ses appareils. Beaucoup d'entre nous en auront retiré, j'en suis sûr, d'utiles enseignements.

M. Harzé. — Il me semble qu'il y a une autre précaution à ajouter à celles que M. Reumaux a énumérées dans son rapport. Il serait à désirer, selon moi, que l'on arrivât, pour chaque bassin et même pour chaque fosse, à uniformiser les signaux. La différence des signaux donne lieu à de nombreux accidents. A Mons, on est arrivé à cette uniformité; c'est un exemple à suivre et que je crois devoir proposer à l'Assemblée. *(Applaudissements.)*

M. Janet. — Messieurs, je vous demande la permission d'attirer votre attention sur la mise en communication permanente des cages de mines en marche avec le machiniste.

Depuis quelques années, la Compagnie des Mines d'Anzin a fait divers essais pour mettre en communication permanente avec le machiniste les hommes circulant dans les cages.

La solution pratique de ce problème rendrait de grands services à l'industrie des mines.

Les manœuvres d'about, si délicates par suite de l'obligation de transmettre les signaux à l'accrochage le plus voisin, seraient beaucoup facilitées.

Le passage d'un homme seul d'un étage à un autre et la remonte du dernier chargeur d'accrochage, toujours très périlleux avec les systèmes de signaux actuels, ne présenteraient plus aucun danger.

En cas de déraillement d'une cage renfermant des

ouvriers, il deviendrait possible de transmettre un signal d'arrêt au machiniste, ce qui peut éviter de graves accidents.

C'est précisément à la suite d'un accident de cette nature que l'attention de la Compagnie d'Anzin a été attirée sur cette question. Le 27 février 1885, à la fosse Saint-Marck, la cage montante déraillа en passant à une recette où les guidages étaient interrompus et remplacés suivant l'usage par des guides d'angle, vint heurter violemment la cage descendante, ce qui détermina la rupture du câble et la chute au fond du puits des quatre ouvriers qui se trouvaient dans la cage.

La solution mécanique, consistant à placer assez près de la cage le câble servant à transmettre au machiniste les signaux du fond, a paru impraticable. Elle offre le grave inconvénient de forcer les ouvriers à pencher le bras hors de la cage, ce qui n'est pas sans danger, même au repos, le départ pouvant être assez brusque pour que ceux-ci n'aient pas le temps de retirer le bras. En marche le danger est beaucoup plus grand et il est en outre très difficile de saisir le câble.

L'idée la plus simple indiquée par M. Boissau, ingénieur divisionnaire aux Mines d'Anzin, paraît être d'utiliser le câble d'extraction pour former le circuit (au moins dans le cas d'un câble métallique); on a donc essayé de placer un petit câble en cuivre soigneusement isolé dans un des torons du câble d'extraction, de manière qu'il tînt lieu pour ce toron de l'âme habituelle en chanvre. Malgré tous les soins apportés à la construction de ce câble, l'isolement n'a pu être maintenu pendant la marche. Je ne regarde néanmoins pas cette solution comme irréalisable dans la pratique, mais elle aura toujours le grave inconvénient de ne permettre aucune réparation, et lorsque l'appareil se dérangera, il faudra attendre le remplacement du câble par un

câble nouveau. Elle ne paraît pas en outre applicable aux câbles en aloès,la différence d'allongement entre le cuivre et l'aloès étant trop considérable pour qu'il n'y eût pas rupture des deux fils auxquels il faudrait dans ce cas avoir recours.

Il semble donc beaucoup plus rationel de former le circuit au moyen d'un fil suspendu librement dans le puits au voisinage de la cage. Ce principe a été appliqué pour la première fois par M. de Pélissot à la fosse Vieux-Condé, au mois d'avril 1885.

Les signaux étaient donnés par une sonnerie électrique. L'un des pôles d'une pile communiquait avec le sol par l'intermédiaire du bâti de la machine. L'autre pôle était relié à la sonnerie et au-delà à un fil métallique suspendu librement dans le puits. Ce fil était nu et recouvert de gutta-percha à son point d'attache seulement. D'un autre côté, la cage était par l'intermédiaire du câble métallique d'extraction et d'un conducteur partant de la bobine, en communication avec le bâti de la machine et par suite avec le sol.

On comprend facilement que si, tandis que la cage se déplace dans le puits, on pousse dans l'intérieur de cette cage un verrou qui vienne toucher le fil, le circuit se trouve ainsi fermé.

Ce système a fonctionné pendant plusieurs mois à la fosse Vieux-Condé, avec la vitesse de circulation des hommes (2^m,50 à 3 mètres par seconde), les signaux ont toujours été nettement entendus par le mécanicien et l'arrêt réalisé sans secousse en 5 à 10 mètres.

Avec des câbles en aloès, il faudrait avoir deux fils conducteurs et deux verrous.

Au point de vue de la sécurité on peut reprocher à ce système de ne plus pouvoir servir en cas de déraillement, le verrou ne pouvant plus, par suite du déplacement de la cage, venir toucher le fil.

D'autres expériences ont été faites par M. Catrice à la fosse Chabaud-Latour en 1888 et 1889.

M. Catrice a appliqué un appareil reposant sur un principe un peu différent, indiqué par M. Chenet, et consistant à maintenir une communication constante entre les fils conducteurs et la cage, l'appareil servant à fermer le circuit étant placé dans l'intérieur de la cage. Il a imaginé diverses dispositions de détail parmi lesquelles celle qui nous paraît avoir donné les meilleurs résultats est la suivante :

Les câbles étant en aloès, il a fallu appliquer deux conducteurs pour chaque cage. On a choisi des câbles en fil de fer de 7 millimètres de diamètre, analogues à ceux servant pour la transmission des signaux ordinaires du fond au jour. Les deux câbles isolés à la partie supérieure étaient reliés par des fils conducteurs aux deux bornes d'une sonnerie électrique placée près du machiniste. Ils passaient sur deux poulies à gorge, en fonte, de 18 centimètres de diamètre, fixées sur les cages et portaient à leur extrémité inférieure deux poids de 40 kilogrammes destinés à assurer leur adhérence sur les deux poulies.

Ces poulies étaient fixées sur des châssis dont l'un était boulonné directement sur la cage, tandis que l'autre en était isolé électriquement au moyen de bandes en caoutchouc. Il suffisait donc pour fermer le circuit et faire retentir la sonnerie de mettre en communication la cage avec le châssis isolé, ce qu'on obtenait au moyen d'un manipulateur très simple.

L'appareil a donné de bons résultats à la vitesse de circulation du personnel ; il pourrait même servir en cas de déraillement de la cage. Il a fonctionné régulièrement du 1er novembre 1888 au 29 avril 1889, soit une période de six mois, pendant laquelle la fosse Chabaud-Latour a extrait 140.000 tonnes.

La question est d'ailleurs encore aujourd'hui à l'étude à la Compagnie d'Anzin, qui a entrepris de nouvelles expériences, fondées sur un principe absolument différent, analogue à celui qui a été appliqué en Amérique pour obtenir la mise en communication des trains de chemins de fer en marche avec les stations et reposant sur l'emploi de courants d'induction.

M. Lauras. — Ce système me paraît d'une assez grande simplicité; cependant, il laisse encore à désirer parce qu'il est nécessaire que l'ouvrier laisse un certain intervalle entre les coups.

Dernièrement, dans une mine belge. un ouvrier était descendu sur le reposoir de la cage, contrairement, il est vrai, au règlement. Il a voulu prévenir le machiniste, il a sonné l'un après l'autre les cinq coups, ce dernier n'a pas compris et la cage est venue lui casser les jambes.

Il vaudrait mieux, selon moi, adopter comme à Blanzy des signaux électriques indiquant aux ouvriers et aux machinistes ce qu'ils doivent faire.

L'orateur donne une description technique du système de signaux électriques employé dans les mines de Blanzy.

Les abords des recettes du puits Jules Chagot étant éclairés à l'électricité, il était naturel d'utiliser aussi cette force pour transmettre les signaux. Un premier fil monté en dérivation sur le courant principal porte au jour une lampe à incandescence en vue du mécanicien et une sonnerie-trembleur; au fond, une lampe et un interrupteur à la disposition du chef encageur. Lorsque celui-ci veut donner un signal, il appuie sur l'interrupteur et est certain que le signal est bien arrivé, c'est-à-dire que le fil est en bon état puisque sa lampe s'est allumée. Au jour, l'attention du mécanicien est bien tenue en éveil, le signal étant à la

fois optique et acoustique. Une seconde dérivation portant au jour une lampe et un interrupteur; au fond, une sonnerie et une lampe permettent au mécanicien de demander la répétition du signal s'il ne l'a point compris. Lorsque la cage doit transporter des hommes, le signal doit toujours être répété. Pour donner plus de sécurité encore, une troisième dérivation a été installée portant au jour une lampe à incandescence à verre rouge; au fond, une lampe semblable et un commutateur. Lorsque la cage arrive au fond et repose sur les taquets, le chef encageur allume les lampes à feu rouge par le commutateur et aucune manœuvre ne doit plus être faite avant leur extinction. La poignée du commutateur dans cettte position protège du reste l'interrupteur et l'empêche de fonctionner. Grâce à ces dispositions, aucune fausse manœuvre n'a été relevée dans le puits Jules Chagot depuis le jour de leur installation, qui date de quinze mois.

Je signalerai en terminant la disposition des recettes de ce puits. Des accidents sont arrivés souvent avec les cages à 2 étages parce que l'encageur demandant un simple mouvement, le mécanicien envoie immédiatement au contraire la cage au jour. Au puits Jules Chagot, la recette a deux étages comme la cage, et les bennes pleines ou vides entrent ou sortent en même temps. On gagne ainsi du temps et on supprime une manœuvre. Par cela même, les signaux sont diminués et simplifiés. (Les deux étages de la recette communiquent par une balance équilibrée.)

Depuis dix-huit mois que ce système fonctionne à Blanzy, il n'y a pas eu une fausse manœuvre, pas le moindre accident ne s'est produit.

M. Voisin. — Habituellement, le signal d'arrêt est donné par un coup unique et non par plusieurs coups.

M. le Président. — Messieurs, je voudrais présenter quelques observations sur le rapport de M. Reumaux.

A la page 4 de sa brochure, ce dernier dit que l'emploi des échelles a été réglementé en Angleterre par l'acte de 1872. Mais vous devez savoir que ce règlement est bien élémentaire. Tout ce que l'exploitant doit faire, aux termes de ce règlement, c'est d'avoir ses paliers à une distance qui n'est pas plus grande que 20 mètres et de donner à l'échelle toute l'inclinaison que l'espace dont il dispose lui permet de donner. Or, voici ce qui arrive : Nous avons, en Angleterre, beaucoup de puits si petits qu' il n'y a pas assez d'espace pour l'installation des échelles. Du moment que l'échelle n'est pas absolument verticale, n'y eût-il qu'un petit angle d'un degré, l'inspecteur n'a rien à dire, car lorsque l'exploitant lui dit : voilà l'espace dont je puis disposer, l'inspecteur n'a pas le droit de lui répondre : vous devez faire des puits plus grands.

Dans une autre partie de son rapport, M. Reumaux a parlé de l'échelle mobile dont nous nous servons en Angleterre, notamment dans les mines de zinc de la province de Cornouailles. Si nous avons adopté cet appareil, c'est à cause de l'état barbare, si je puis m'exprimer ainsi, des puits de cette contrée. Ceux qui y sont descendus ont pu remarquer qu'ils étaient tous ou inclinés ou coudés et même coudés dans des sens divers. Je n'ai pas besoin de dire que ces échelles mobiles sont installées dans de très mauvaises conditions.

Voici maintenant une troisième observation. A la page 8 de son rapport, M. Reumaux, faisant la comparaison des échelles mobiles de l'Angleterre et de l'Allemagne, dit que les statistiques des mines de Cornouailles sont plus favorables. Je dois vous expliquer que les échelles mobiles que nous avons en Angleterre sont des échelles mobiles à tige simple qui, suivant

moi, sont beaucoup moins dangereuses que les échelles à deux tiges qu'on rencontre en Allemagne et en Belgique.

A la page 7 du même rapport, M. Reumaux dit qu'il n'y a sur les Fahrkunsts d'accidents possibles que par la faute de la victime. Je ne puis admettre cette assertion par cette raison qu'à ma connaissance il y a eu de terribles accidents, l'un, entre autres, il y a dix ans, au puits Abraham, où il y a eu 10 hommes tués ; un autre, au puits Rosenhill, à Clarence, où il y a eu 22 victimes, sans qu'on puisse dire qu'il y a eu faute de la part des victimes. Dans les deux cas que je viens de citer, c'est à la rupture de la tige que doit être attribué l'accident.

Je trouve ensuite à la page 40 du rapport une statistique dans laquelle M. Reumaux fait des calculs sur le nombre des ouvriers employés en Angleterre. Je regrette beaucoup qu'il n'ait pu avoir, pour faire ce travail, des chiffres tout à fait exacts. J'espère pouvoir les lui fournir un de ces jours et je suis persuadé qu'il arrivera ainsi à un total d'accidents plus favorable à l'Angleterre que celui qu'il présente.

Enfin M. Reumaux trouve que les ouvriers du fond entrent pour 72 p. °/₀ dans le personnel total. Je n'ai pas ici tous les chiffres en ce qui concerne l'Angleterre, je ne les ai qu'à partir de 1878 ; mais si je fais le calcul, je trouve qu'en Angleterre la proportion des ouvriers du fond est de 80 au lieu de 72 p. °/₀. Dans les cinq ans, de 1884 à 1888, cette proportion serait même de 81 p. °/₀. Je suis bien loin de trouver mauvais que M. Reumaux ait compris les ouvriers du fond en faisant une comparaison entre les différentes mines. C'est un élément très important et qui a été quelquefois oublié. Si l'on compare, par exemple, les houillères avec les

mines métalliques, on trouve, en Angleterre, que dans les houillères la proportion est de 80 p. °/₀, tandis qu'elle n'est que de 60 p. °/₀ seulement pour les mines métalliques. Il faut donc avoir, dans ce cas, le chiffre exact des ouvriers du fond. Seulement, vous le savez, il est un proverbe, aussi vrai en France qu'en Angleterre : c'est qu'avec les chiffres on peut trouver tout ce qu'on veut (*Rires approbatifs*) ; cela est si vrai que je pourrai vous démontrer, par exemple, que nos ardoisières souterraines sont moins dangereuses que nos houillères ou plus dangereuses, suivant la manière dont je grouperai les chiffres en prenant les ouvriers du fond et du jour ou les ouvriers du fond seulement. Mais il est une statistique qu'il faut aussi considérer et sur laquelle j'appelle particulièrement votre attention : c'est celle que j'appellerai la statistique vitale, c'est-à-dire qu'il ne faut pas considérer seulement le nombre des hommes tués par suite d'accidents, mais tenir compte en même temps de la durée de la vie des mineurs.

Je vais vous citer un exemple pour vous bien faire comprendre ma pensée.

J'ai voulu établir une comparaison entre les mines d'étain de Cornouailles et les houillères anglaises. J'ai pris le nombre des ouvriers du fond dans les deux espèces de mines et le chiffre des accidents qui s'y sont produits pendant une période de dix ans. J'ai trouvé que dans les mines de Cornouailles il y avait eu un peu plus d'accidents que dans les houillères; mais supposons un instant la proportion inverse, on ne pourrait pas dire que les mines métalliques de Cornouailles ont été moins dangereuses que les houillères parce que si nous prenons la durée de la vie du mineur, nous trouvons que dans les houillères la vie est plus longue et que le métier est relativement sain.

Je crois donc pouvoir émettre le vœu que les statis-

tiques ne portent plus désormais exclusivement sur le chiffre des accidents, mais, en même temps, sur la durée moyenne de la vie des mineurs. (*Vifs applaudissements.*)

M. Reumaux. — Les chiffres de ma statistique sont copiés sur ceux de la statistique imprimée en Angleterre. Aux chiffres de cette statistique que j'ai considérée comme officielle, j'ai opposé ceux de la statistique française. Je ne dis pas cependant qu'il ne puisse y avoir là une légère erreur.

En ce qui concerne les accidents, j'ai exposé et je maintiens que lorsque dans un Fahrkunst tout est bien établi, la rupture de la tige ne peut pas produire ces accidents.

M. le Président. — Personne ne demande plus la parole ?

Il ne me reste plus, Messieurs, qu'à vous remercier de l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant à présider une réunion d'hommes aussi distingués et de mineurs aussi connus que ceux qui assistent à cette séance. C'est un souvenir que je rapporterai avec fierté dans mon pays. (*Vifs applaudissements.*)

La séance est levée à 4 heures 1/2.

Séance du mardi 10 septembre 1889.

Présidence de M. Del Castillo.

La séance est ouverte à 2 h. 1/4.

M. Castel, président du Congrès, donne lecture d'une lettre de M. Gattereau, qui s'excuse de ne pouvoir prendre part aux travaux du Congrès.

Il fournit ensuite diverses indications, relativement au banquet qui doit avoir lieu le soir même et à diverses excursions ou visites, pour lesquelles MM. les Membres du Congrès auront à se faire inscrire.

M. Del Castillo, vice-président du Congrès, ouvre la séance, en adressant des remerciements au Congrès.

M. Witmeur, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la séance précédente.

Le procès-verbal est adopté sans observation.

M. le Président. — L'ordre du jour appelle la discussion du rapport de M. Chalon sur l'emploi de l'électricité dans les mines.

La parole est à M. Chalon.

M. Chalon, ingénieur des Arts et Manufactures. Les applications de l'électricité aux travaux souterrains sont tellement variées que l'on peut déjà prévoir l'époque très rapprochée où le courant électrique se substituera presque partout à la main-d'œuvre de l'homme.

Les charbonnages eux-mêmes, qui sont si merveilleusement outillés au point de vue mécanique, en raison de leurs facilités d'approvisionnement économique de combustible, tendent à remplacer peu à peu la vapeur,

l'air comprimé, l'eau sous pression, par le courant électrique dont le transport est aisé, peu coûteux et sans danger, et qu'un simple fil de cuivre peut diriger sur tous les points et à tous les étages d'une exploitation minière.

Ce courant exécute les travaux les plus divers. Il distribue l'éclairage au fond comme à la surface et sert, en même temps, à mettre le feu aux fourneaux de mine et à établir des communications par signaux et par téléphone. Il peut fournir, en tous points, à des niveaux différents, à des distances quelconques, la force motrice nécessaire pour la traction mécanique sur voies ferrées, par câbles ou plans inclinés, pour l'extraction des produits abattus, l'épuisement des eaux, la ventilation, le forage des trous de mine, le havage, et en général pour la manœuvre des engins et machines les plus variés.

Et ces multiples applications ne nécessitent que l'emploi d'une dynamo actionnée par une machine à vapeur, et de fils conducteurs.

Mais c'est surtout dans les mines métalliques que l'électricité devient un agent incomparable. Celles-ci se présentent généralement dans des conditions très désavantageuses au point de vue de l'exploitation, car elles se rencontrent presque toujours dans des régions peu accessibles, où le combustible est cher et où les transports présentent des difficultés parfois insurmontables. Par contre, il est rare de ne point trouver dans leur voisinage des chutes d'eau, des rivières torrentielles ou même de simples ruisseaux dont la force naturelle peut être transformée, à l'aide d'nne turbine ou d'une roue hydraulique et d'une dynamo, en courants électriques que l'on utilise ensuite à l'éclairage, à l'abatage et au transport du minerai et même au traitement sur place de ce minerai par l'électrolyse ou la chaleur.

On peut encore, dans certains cas, forer un puits ar-

tésien et créer une chute d'eau au moyen d'un réservoir plus ou moins élevé.

A la vérité, toutes ces forces naturelles pourraient être utilisées pour le transport de l'énergie par l'air comprimé, l'unique agent susceptible d'entrer en compétition avec l'électricité au point de vue de la multiplicité de ses applications ; mais, malgré les coûteuses et savantes tentatives faites jusqu'à ce jour, il est permis de croire que ce système ne se généralisera pas dans les travaux souterrains à cause des nombreux inconvénients qu'il présente.

Des ingénieurs distingués ont consacré une somme énorme d'efforts et de talent à rendre pratique et économique l'usage de l'air comprimé. Ainsi et pour ne citer que l'un des plus remarquables exemples, le charbonnage de Blanzy est supérieurement outillé à ce point de vue. L'air sous pression est distribué avec une large profusion dans toutes les galeries et l'on a la grande facilité de pouvoir prendre de la force motrice en un point quelconque de la canalisation et au moment seulement où l'on en a besoin. L'ensemble de la distribution comprend :

1° Les conduites principales qui amènent l'air de la chambre des compresseurs au fond du puits ;

2° Des conduites secondaires qui distribuent l'air dans les galeries et chantiers ;

3° Des conduits d'application aboutissant aux divers appareils qu'il s'agit de mettre en mouvement.

Dans cette canalisation, qui constitue un ensemble comparable à un réseau de conducteurs électriques, la pression est constamment maintenue entre 4 k. et $4^{k},50$; on fait en sorte qu'elle ne tombe jamais au-dessous de 4 k., quel que soit le nombre des outils et machines en marche : treuils, ventilateurs, perforateurs, haveuses, pompes, etc.

La puissance motrice peut être une roue hydraulique ou une machine à vapeur, mais quelle qu'elle soit on n'en utilise guère plus de 30 p. °/₀; M. l'ingénieur Mathet admet un rendement minimum de 40 p. °/₀ dans les grandes exploitations. C'est là, nous semble-t-il, un rendement maximum et en tout cas bien inférieur à celui que l'on obtient par la transmission électrique. Si l'on admet en effet des pertes de 10 p. °/₀ au générateur, de 10 p. °/₀ sur la ligne et 10 p. °/₀ au moteur, on arrive à un rendement de 70 p. °/₀, immédiatement utilisable.

L'emploi de l'air comprimé présente encore d'autres inconvénients graves. D'abord, l'air qui sort des compresseurs entraîne des gouttelettes d'eau, lesquelles, en s'accumulant aux points bas des conduites du jour, interrompent, à l'époque des gelées, la marche des appareils, surtout lorsque ceux-ci ne sont pas très éloignés des compresseurs. D'autre part, dans les galeries et travaux souterrains, il arrive que l'air humide, en se détendant, forme des glaçons aux points d'échappement, et cet obstacle est suffisant pour arrêter momentanément les machines.

Au point de vue de la dépense, une installation d'air comprimé est toujours plus coûteuse qu'une transmission électrique en raison des multiples appareils qu'elle nécessite : compresseurs, réservoirs, vannes, purgeurs, sécheurs, réchauffeurs, soupapes, tuyaux, fonte ou fer, avec joints étanches et assemblages compliqués, joints de dilatation, suspensions pour les conduites, etc. En outre, la dépense courante ou de fonctionnement est considérable ; ainsi, à Blanzy (1), on a dépensé environ 66.000 francs, en 1886, simplement en main-d'œuvre,

(1) *L'air comprimé aux mines de Blanzy*, par M. F. Mathet, ingénieur en chef des mines de Blanzy (1889).

combustible et réparations pour produire l'air comprimé nécessaire à la mise en marche de :

35 treuils de 20 chevaux en moyenne;
1 machine à 2 cylindres pour le traînage mécanique au fond;
9 pompes de 4 chevaux;
8 bosseyeuses absorbant 12 chevaux chacune;
20 petits ventilateurs de 2 chevaux;
12 forges de 2 chevaux;
Et 2 haveuses d'essai.

L'ensemble de ces machines et outils comportant une puissance de 950 à 1.000 chevaux a consommé près de 6 millions de mètres cubes d'air comprimé à 4 fr. 50 revenant à 0 fr. 14 le mètre.

En somme, et malgré les incontestables services que peut rendre l'air comprimé, spécialement dans les grandes exploitations, il est probable que ses applications ne se développeront pas et que, tôt ou tard, l'électricité lui sera avantageusement substituée.

Voici encore une application de l'air comprimé à la transmission de la force à grande distance, et que j'extrais d'une communication à l'Institut américain des ingénieurs des mines, en octobre 1888.

Il s'agissait d'utiliser une chute d'eau, située à 5 kilomètres des mines Chapin et Ludington, aux Etats-Unis. Quatre turbines de 900 à 1.000 chevaux, soit en totalité 3.700 chevaux, commandent des compresseurs qui envoient à la mine de l'air comprimé à 4 kilog., à la température de 15° c., par des conduites en fer de $0^m,63$ de diamètre. Ces conduites sont formées de sections de 22 mètres de longueur, avec joints de dilatation intercalés de dix en dix sections. La force motrice de l'air comprimé est utilisée dans des machines Corliss pour actionner des pompes de Cornouailles, des treuils,

des perforatrices, des pompes souterraines et une machine Corliss qui commande un transport par câble dans un tunnel.

L'installation totale a coûté 2.500.000 francs.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Travail en chevaux aux compresseurs	1.430
— aux machines de la mine. .	390

C'est-à-dire que l'on utilise à peine 10 p. °/₀ de la force motrice totale, 3.700 chevaux et 27 à 28 p. °/₀ de la puissance fournie par les compresseurs.

L'auteur de la communication conclut qu'un transport de la force par l'électricité eût coûté beaucoup moins cher d'établissement et eût donné un rendement au moins double en fournissant une source d'énergie éminemment maniable et disponible à tout instant en un point quelconque de la mine.

On a dit, en faveur de l'air comprimé, que sa détente dans les chantiers de travail augmente la ventilation en produisant un fort courant d'air et peut même prévenir les dangers du grisou en dispensant les mélanges de gaz inflammables et les empêchant de s'accumuler en des points déterminés. Or, cette diffusion des gaz grisouteux est, à mon avis du moins, plutôt nuisible, en ce sens qu'elle tend à faciliter, lors d'un accident, la propagation du feu dans les galeries éloignées et à transformer ainsi en une catastrophe désastreuse ce qui n'eut été peut-être qu'une simple explosion sans grande importance ou un incendie localisé.

En somme, et malgré les incontestables services que peut rendre l'air comprimé, spécialement dans les grandes exploitations, il n'est pas téméraire de croire que son application ne se généralisera pas et que tôt ou tard l'électricité lui sera avantageusement substituée dans la plupart des cas.

C'est qu'en effet, outre la possibilité d'utiliser une force naturelle : chute d'eau, vent, marée, et de la transporter à grande distance avec un rendement satisfaisant, ou bien encore de transmettre de l'énergie produite par une machine à vapeur dans des contrées où le combustible est à bon marché, l'emploi de l'électricité ne comporte que des installations simples, légères, peu coûteuses, faciles à surveiller et à contrôler, et à l'abri des accidents si fréquents dans les mines. Le courant électrique est un agent que l'on a pour ainsi dire sous la main, qui se prête à toutes les exigences et sinuosités des localités et des terrains et qui enfin ne présente aucun des inconvénients inhérents à l'emploi de la vapeur, de l'eau ou de l'air comprimé, tels que : les fumées, les fuites, les canalisations dispendieuses et de réparation difficile, les accidents par ruptures, obstructions, explosions, incendies, etc.

C'est pourquoi l'on peut prévoir déjà que l'époque n'est pas éloignée où l'électricité deviendra l'auxiliaire indispensable du mineur et permettra d'exploiter avec profit toutes les mines et spécialement celles que leur situation inaccessible a laissé improductive jusqu'à ce jour.

CONDITIONS GÉNÉRALES DU TRANSPORT DE L'ÉNERGIE PAR L'ÉLECTRICITÉ DANS LES MINES

L'étude du transport de l'énergie par l'électricité dans les mines comporte les trois cas suivants :

1° On dispose sur place d'une puissance motrice naturelle, ou bien de combustible à bon marché.

Il peut arriver en effet que dans une exploitation minière on ait à sa disposition une chute d'eau ou du combustible, bois ou charbon, à bon marché. Il faut alors étudier ce qu'il convient le mieux d'employer en

examinant avec soin les convenances de la mine et de l'exploitation, ainsi que les facilités de transport de l'énergie aux chantiers et ateliers, au jour comme au fond.

Si les puits et les dépendances de la surface sont groupés sur une superficie peu étendue, il convient d'installer une station centrale d'électricité ou de vapeur.

Si au contraire les puits et bâtiments sont dispersés à des distances plus ou moins grandes, deux stations sont nécessaires.

2° On dispose d'une puissance motrice à une certaine distance, ou bien l'on a sur place du combustible économique.

Dans ce cas, on utilise la force naturelle si son transport est plus économique que l'installation et l'entretien d'une machine à vapeur. La transmission de la force peut alors se faire par câble, par air comprimé ou par l'électricité ; le premier système sera quelquefois avantageux pour de faibles distances : 300 ou 400 mètres, et le second à moins de 1.000 mètres. Pour toutes distances supérieures à 1.000 mètres, comme aussi pour de grandes distances motrices, le transport par l'électricité est généralement à préférer.

3° Le combustible est cher, et il n'existe pas de force naturelle dans la région.

L'examen des conditions locales peut seul indiquer s'il vaut mieux transporter la force par l'électricité ou établir des transmissions par câble, par vapeur, ou même par air comprimé.

Ceci posé, voici les principales applications de l'électricité dans une exploitation minière :

Tirage des mines.

On fait usage d'une dérivation sur la conduite principale ou d'appareils exploseurs spéciaux, avec des amorces électriques de quantité ou de tension.

Eclairage.

On emploie des lampes fixes en séries actionnées au moyen d'une dérivation sur la conduite principale ou par une dynamo spéciale placée à la surface ou en un point central de la mine, et des lampes portatives à piles primaires ou secondaires.

Signaux.

On les obtient au moyen de dérivation sur une conduite quelconque du réseau électrique.

Perforation mécanique et havage.

Pour l'abatage, le fonçage des puits et le percement des galeries, on emploie des perforatrices rotatives ou à percussion. Les premières sont actionnées par un petit moteur électrique fixé sur leur bâti (perforatrices Taverdon, Fontanet Tédesco, etc.), ou par un moteur mobile et un flexible (perforatrice Bornet). Les secondes sont actionnées directement par le courant électrique ou avec emploi d'air comprimé.

Traînage.

Tramways avec moteur ; câbles remorqueurs ou câbles sans fin actionnés par la dynamo réceptrice directement ou indirectement.

Extraction.

Treuils mus par l'intermédiaire de la réceptrice.

Epuisement.

Les pompes sont mises en mouvement par la réceptrice.

Ventilation.

Les ventilateurs peuvent être actionnés directement par la réceptrice, ou par l'intermédiaire de poulies et courroies.

Outillage divers.

Dans les ateliers, les outils à main sont mis en mouvement directement par la réceptrice.

Extinction d'incendies.

Une pompe mobile porte un petit moteur actionné par le courant de la réceptrice.

CALCULS RELATIFS AU TRANSPORT DE L'ÉNERGIE

Le problème pratique d'une transmission électrique doit être formulé de la façon suivante : Transporter l'énergie à la distance voulue, avec un rendement déterminé, une régularité parfaite et une dépense moindre qu'avec tout autre agent (eau, air comprimé ou vapeur).

Les éléments matériels d'une transmission comprennent :

1° Une force motrice initiale (machines à vapeur, à gaz, à air comprimé, ou machine hydraulique) ;

2° Un générateur qui transforme en courant électrique le travail mécanique de la force initiale ;

3° Un récepteur ou moteur qui, par une opération inverse, transforme l'énergie électrique du générateur en travail mécanique utilisable ;

4° Une ligne conductrice qui transmet le courant électrique du générateur ou récepteur.

Les machines génératrice et réceptrice sont des dynamos ; le conducteur est un câble métallique isolé.

Le travail utile final, mesuré sur l'arbre du moteur, est égal au travail mécanique initial de la puissance motrice, diminué des pertes qui résultent de la chute

de potentiel sur la ligne et du travail nécessaire pour faire marcher à vide le générateur et le récepteur.

Pour être rigoureusement exact, il faudrait encore tenir compte des pertes dues à la formation de courants de Foucault dans les armatures en mouvement, et à l'inertie électro-magnétique qui retarde l'effet du courant dans la ligne et les bobines des dynamos en l'empêchant de prendre immédiatement sa valeur de régime. Toutefois, on les néglige dans la détermination des rendements.

Nous définirons d'abord ce qu'on entend par rendement :

1° *Le rendement de la dynamo génératrice* est le rapport entre la puissance mécanique qu'elle absorbe et l'énergie électrique qu'elle transmet à la ligne conductrice. Nous l'appellerons *rendement électrique.*

2° *Le rendement de la dynamo réceptrice ou moteur* est le rapport de l'énergie électrique reçue et le travail électrique qu'elle produit mesuré au frein. Nous l'appellerons *rendement mécanique.*

3° *Le rendement de la transmission électrique* est le rapport entre le travail recueilli au frein sur le moteur et le travail reçu par la génératrice. Nous l'appellerons *rendement industriel.*

Le rendement industriel constitue ce que l'on pourrait appeler d'une façon générale le *rendement d'une transmission.* Il varie d'autant plus que les pertes de tout genre d'une extrémité à l'autre de la transmission sont plus grandes ; et celles-ci peuvent être évitées par un choix judicieux des dynamos et des conducteurs, par un isolement parfait et par une installation générale bien raisonnée.

Il y a donc lieu de se préoccuper surtout de l'isole-

ment en général et en particulier de l'isolement de la ligne.

Ces questions préliminaires étant résolues, on détermine la section des conducteurs et la dépense de l'installation pour un rendement déterminé.

1° Déterminer la section de la ligne.

Soient :

l, la longueur de la ligne entre le générateur et le moteur, en mètres ;

n, le nombre de chevaux effectifs mesuré au frein sur le moteur ;

E, la f. e. m. développée par le moteur ;

v, la perte de potentiel en volts sur la ligne ;

$E' = E + v$, la f. e. m, développée par le générateur ;

a, le rendement mécanique ;

S, la section du câble conducteur en millimètres carrés de cuivre.

Nous supposerons que l'isolement est parfait et que l'intensité du courant est la même dans toute l'étendue du circuit électrique.

La valeur du courant en ampères se déduit de la formule connue :

$$EI = 736.\frac{n}{a}, \text{ d'où l'on tire : } I = 736\ \frac{n}{Ea}$$

Un cheval électrique valant 736 watts et la puissance en watts du moteur étant égale au produit de l'intensité du courant par la force électro-motrice E ;

La résistance du circuit 2 l sera, en désignant par m la résistance d'un fil de cuivre de 1 millimètre et de 1 mètre de longueur.

$$\frac{2ml}{S}$$

La perte de potentiel v due à la résistance de la ligne est, par conséquent :

$$V = \frac{736 \,.\, n}{Ea} \times \frac{2ml}{S}$$

D'où l'on tire :

$$S = \frac{1472 \,.\, n \,.\, m \,.\, l}{E \,.\, a \,.\, v}$$

et en remplaçant m par sa valeur 0,0206.

$$S = 30{,}323 \, \frac{n \,.\, l}{E \,.\, a \,.\, v}$$

C'est ce que l'on appelle la *formule de Sprague.*

Application. — Quelle doit être la section du conducteur nécessaire pour transporter 10 chevaux à 1.500 mètres de distance, la f. e. m. du moteur étant de 400 volts, la perte de potentiel sur la ligne de 9 p. °/₀ et le rendement mécanique de 90 p. °/₀ ?

La f. e. m. du générateur sera de 440 volts et l'on aura :

$$S = \frac{30{,}323 \times 10 \times 1.500}{400 \times 0{,}90 \times 40} = 32^{m/m^2}$$

La même formule peut servir à résoudre le problème suivant :

Problème. — Quel doit être le rendement mécanique d'un moteur avec un câble de 30 millimètres carrés de section pour transmettre 5 chevaux à la distance de 1.650 mètres ? On suppose qu'il n'y a pas de pertes par défaut d'isolement ou vices d'installation et que les f. e. m. du moteur et du générateur sont respectivement de 250 et 300 volts.

On a :

$$a = 30{,}323 \, \frac{n \,.\, l}{E \,.\, S \,.\, v}$$

D'où :

$$a = 30{,}323 \, \frac{5 \times 1.650}{250 \times 50 \times 30} = 0{,}67$$

Le moteur doit fournir un rendement mécanique de 67 p. °/₀; ce qui est un cas pratiquement possible.

De la formule de Sprague on déduit que la section S, et par suite la dépense de la ligne de longueur l, augmente lorsque la chute de potentiel v diminue et quand le rendement mécanique a devient moindre.

2° Calculer la dépense d'une installation de transport de l'énergie par l'électricité.

Connaissant la section S, il est facile d'en déduire la dépense d'achat des conducteurs. Quant aux frais de pose de la ligne, elle dépend des circonstances locales en tant que main-d'œuvre et difficultés matérielles du travail ; on ne peut donc pas les déterminer immédiatement.

Les dépenses afférentes à la puissance motrice originelle : turbine, roue hydraulique ou autre, ainsi qu'au générateur et au moteur électriques, sont calculées par cheval effectif fourni sur l'arbre de la réceptrice.

On trouve ainsi, ce qu'a déjà démontré M. Marcel Deprez, que pour un rendement industriel donné la dépense minima par cheval transmis en dehors des frais spéciaux d'érection de la ligne est indépendante de la distance à laquelle on transmet la force.

On trouve encore que si la chute de potentiel entre le générateur et le moteur augmente, la dépense de la ligne diminue tandis que celle du générateur croît. Inversement, si la chute de potentiel décroît, la ligne est plus coûteuse, mais le générateur l'est moins.

Il y a donc intérêt à déterminer, avant toutes choses, la perte de potentiel qui correspond à une dépense minima de l'installation générale.

Pour l'ingénieur qui veut étudier un problème de transport de la force par l'électricité, la question est simplifiée par l'adoption préalable d'un type déterminé de dynamos génératrice et réceptrice. De plus, le ren-

dement se trouvant toujours compris entre 45 et 75 p. °/₀, on en conclut qu'à un cheval de force à fournir par le moteur correspondent 1,41 à 2,22 chevaux pour le générateur. Ces considérations permettent en outre de se rendre compte de la quantité de force électro-motrice qu'il convient d'adopter pour le générateur.

Après avoir ainsi exposé les principes généraux du transport de l'électricité, j'indiquerai avec quelques détails ses applications au tirage des mines, à l'éclairage, aux signaux, à la perforation et au havage.

TIRAGE DES MINES PAR L'ÉLECTRICITÉ

L'emploi de l'électricité pour enflammer les charges de poudre est la plus ancienne application du courant électrique dans les mines.

L'allumage des fourneaux de mine se fait généralement au moyen de la *mèche de sûreté* et de la *canette* ou fétu de paille rempli de poudre.

Lorsqu'on fait usage du fétu, on bourre le trou de mine autour d'une épinglette en cuivre qui laisse, en sortant, un vide allant jusqu'à la charge. A l'ouverture restée libre, on introduit un chalumeau de paille contenant de la poudre fine à laquelle on met le feu.

Comme il est aisé de s'en rendre compte, ce procédé rudimentaire donne lieu à de fréquents ratés. D'ailleurs il arrive souvent que la poudre mise en feu, au lieu de chasser vers le fond du fourneau, est projetée à l'extérieur ; en outre la rapidité d'inflammation est telle que les ouvriers ont à peine le temps de s'écarter à une distance suffisante du lieu de l'explosion.

L'allumage au fétu est particulièrement dangereux dans les charbonnages, car la poudre, en prenant feu, lance une fusée d'étincelles qui peuvent enflammer le grisou ou les poussières charbonneuses.

L'introduction dans les mines de la *mèche Bickford*,

dite *de sûreté*, constitue un progrès notable ; mais cet engin est loin d'être parfait et présente aussi des inconvénients.

Par économie, on emploie souvent la mèche ordinaire, blanche ou goudronnée ; parfois, pour diminuer les risques de ratés, on amorce avec deux mèches à la fois.

La mèche à gutta-percha vaut mieux, mais elle coûte quatre fois plus cher que la mèche ordinaire (1 fr. 50 le rouleau de 10 mètres au lieu de 0 fr. 40).

La mèche Bickford brûle à raison de $0^{m},80$ environ par minute ; toutefois, cette règle est loin d'être absolue, elle comporte même trop d'exceptions. Il arrive en effet que la combustion s'arrête pendant un très long intervalle de temps, en un point donné, par suite d'étranglement, d'interposition de matière étrangère, d'interruption du cordon de pulvérin, etc. Souvent même, une simple tache de graisse sur le tissu qui forme l'enveloppe suffit pour faire couver le feu pendant des heures entières. Enfin, l'effet inverse peut avoir lieu, et il arrive accidentellement que la combustion se produit instantanément sur une certaine longueur.

La propagation du feu dans la mèche peut donc, par retard ou précipitation, causer des ratés. Des accidents en résultent fréquemment lorsque les mineurs commettent l'imprudence de procéder prématurément au débourrage.

L'allumage même de la mèche est encore une cause d'accidents qui s'expliquent par le mode d'opérer. Afin de découvrir le pulvérin, le mineur fend l'extrémité de la mèche en deux sur 2 ou 3 centimètres de longueur, puis il en approche une allumette, un morceau d'amadou, etc. Pour mettre le feu à l'amadou, il emploie un briquet ou sa lampe dont il aspire la flamme à travers la paroi métallique à l'aide d'une paille ou d'un tuyau

quelconque ; quelquefois même, il démonte la lampe ; or, toutes ces opérations sont dangereuses, surtout dans les mines à grisou.

Il y a encore un moment périlleux, c'est celui où la mèche prend feu, car elle lance un jet de flamme ou d'étincelles.

Or, tous ces inconvénients sont évités lorsqu'on enflamme directement les charges par l'électricité.

L'emploi des amorces électriques permet encore de tirer plusieurs mines simultanément et de gagner beaucoup de temps dans le travail d'avancement.

Ajoutons enfin qu'avec le progrès réalisé depuis peu, il est plus économique de tirer les mines par l'électricité qu'au moyen des mèches, comme nous allons le démontrer en établissant le devis d'une installation, dépenses de matériel et de premier établissement et dépenses courantes par chaque coup de mine.

Nous supposerons qu'il s'agisse du fonçage d'un puits.

I. — Dépenses de matériel et de premier établissement.

Un appareil magnéto pour 4 amorces en chaîne (soit 6, 8 et même 9 par groupements en dérivations)	80 fr.
500 mètres de conducteur double, comprenant deux fils de 9/10 recouverts de gutta et de coton, et enveloppés ensemble dans une tresse de coton à raison de 16 francs les 100 mètres.	80
Mise en place et divers	25
TOTAL.	185 fr.

L'exploseur ne demande aucun entretien ; si les fils se rompent ou s'usent par le frottement, leur réparation est des plus simples. Ils peuvent donc durer plusieurs années. Nous admettrons néanmoins que leur

prix d'achat doive être amorti en une année seulement. Dans une grande exploitation, il n'y a aucune exagération à calculer une moyenne de 4 à 5.000 coups de mine par an et par appareil; c'est donc environ 0 fr. 04 qu'il faut compter pour chaque tirage.

II. — Dépenses courantes.

(a) Tirage à la poudre :

Une amorce simple à étincelle, avec un mètre de conducteur double	0 fr. 125
Un fil d'accouplement en fer de 1/2^{mm} recouvert de coton, à 3 francs le kilog. Longueur 1^{m},50, dont le prix serait de 0 fr. 075. La perte à la suite des explosions ne dépasse pas 5 p. °/₀, soit.	0 0037
TOTAL.	0 fr. 1287

(b) Tirage à la dynamite :

Une amorce avec détonateur renfermant 0 gr. 750 de fulminate et conducteur double de 1 mètre.	0 fr. 175
Un fil d'accouplement, perte 5 p. °/₀, comme ci-dessus	0 0037
TOTAL.	0 fr. 1787

Nota. — Le conducteur double de l'amorce peut être recueilli après l'explosion ; il représente 2 mètres de fil de cuivre de neuf dixièmes et peut être utilisé pour remplacer les fils d'accouplement en fer d'un demi-millimètre, ou pour tout autre emploi. Le poids brut du cuivre est de 0^{k},011, et sa valeur peut être estimée à 0 fr. 010.

Les dépenses courantes, déduction faite de cette économie, sont donc :

(a) Tirage à la poudre	0 fr.	1187
(b) Tirage à la dynamite	0	1687

En résumé, les prix de revient sont les suivants :

	(a)		(b)	
Dépenses de matériel et d'installation	0 fr.	0200	0 fr.	0200
Dépenses courantes	0	1187	0	1687
TOTAL des prix de revient.	0 fr.	1387	0 fr.	1887

Comparons ces chiffres avec ceux qui correspondent à l'emploi des mèches.

D'après les tarifs de la Société française des dynamites Nobel, la mèche ordinaire, blanche ou goudronnée, vaut 0 fr. 40 par rouleau de 10 mètres, et la mèche à gutta-percha 1 fr. 50.

(a') Tirage à la poudre :

1° Mèche ordinaire.

1^m,50 de mèche.	0 fr.	060
10 p. °/₀ de pertes pour morceaux trop courts, bouts de rouleau, parties défectueuses, sections mal faites, etc	0	006
Pince coupe-mèches, briquet, amadou, etc.	0	002
TOTAL.	0 fr.	068

2° Mèche à gutta-percha.

1^m,50 de mèche.	0 fr.	2250
10 p. °/₀ de pertes comme ci-dessus . . .	0	0225
Pince coupe-mèches, briquet, amadou, etc.	0	0020
TOTAL.	0 fr.	2495

(b') *Tirage à la dynamite :*

1° Mèche ordinaire.

Un détonateur avec 0 gr. 750 de fulminate, à 45 francs le mille. . . . . 0 fr. 045

1m,50 mèche ordinaire . . . . . .
10 p. °/₀ de pertes. . . . . } 0 068
Pince, briquet, amadou, etc . . . . . .

TOTAL. . . . . 0 fr. 113

2° Mèche à gutta-percha.

Un détonateur. . . . . 0 fr. 0450

1m,50 de mèche. . . . . .
10 p. °/₀ de pertes. . . . . } 0 2495
Pince, briquet, amadou, etc. . . . . .

TOTAL. . . . . 0 fr. 2945

En plaçant en regard ces différents prix de revient, on forme le tableau comparatif suivant :

MODE D'INFLAMMATION	DÉPENSES	
	Tirage à la poudre.	Tirage à la dynamite.
Par l'électricité.....	0 fr. 1387	0 fr. 1887
Mèche ordinaire.....	0 0680	0 1130
Mèche à gutta-percha	0 2495	0 2945

L'emploi de la mèche ordinaire paraît, au premier abord, plus économique ; mais il faut remarquer que cette mèche est de peu d'usage, même dans les travaux secs, parce qu'elle est plus délicate et que sa fabrication est moins soignée. D'ailleurs, on la double très souvent pour diminuer les chances de ratés.

Or, la comparaison entre les prix de revient de l'allumage par la mèche à gutta-percha et par l'électricité

est à l'avantage du tirage des mines, soit à la poudre, soit à la dynamite, au moyen d'amorces électriques.

A cette considération économique il faut ajouter que ce dernier procédé donne une parfaite sécurité, qu'il procure un avancement plus rapide et enfin qu'il assure une meilleure utilisation des explosifs par l'avantage des explosions simultanées.

D'ailleurs les procédés de fabrication des amorces s'améliorent tous les jours et leur prix de vente diminue. Le mineur lui-même se familiarise peu à peu avec le tirage électrique, et les ingénieurs arrivent, par une pratique journalière et raisonnée, à obtenir des résultats des plus remarquables. Je citerai, en particulier, l'installation du charbonnage d'Ynishir, près de Cardiff, que j'ai eu l'occasion de visiter en octobre 1888.

A Ynishir, on n'emploie pour le tirage des mines qu'un seul conducteur et l'on effectue le retour du courant par le sol. Ce conducteur unique est un fil télégraphique en fer ; il est soutenu sur des isolateurs en porcelaine autour desquels on le boucle afin de le tendre et de le maintenir en place.

Les isolateurs sont fixés sur les boisages, à des distances de 3 à 4 mètres et à $1^m,50$ au-dessus du sol.

Les trous de mine sont chargés à la tonite, explosif composé de fulmicoton et de nitrate de baryte. On effectue le bourrage par un simple remplissage à l'eau. A la charge est fixée une amorce électrique munie de deux fils isolés séparément et recouverts de gutta. L'un des fils est relié au conducteur de fer ; l'autre, qui constitue le fil de retour, est dénudé sur 12 à 15 centimètres de longueur, puis replié sur lui-même et plongé dans l'eau du trou de mine. La communication avec la terre se fait ainsi d'une manière très originale et à la fois sûre et rapide.

Le fil de fer n'est pas relié directement au circuit

général ; il est arrêté sur un isolateur à 15 ou 20 centimètres de l'extrémité dénudée du conducteur principal. Celui-ci est terminé par une boucle à laquelle est suspendue une petite tige métallique. Lorsque l'on veut effectuer un sauvetage, il suffit de toucher le fil de fer avec la tige de connexion ; le contact s'établit et le courant passe en faisant retour par l'eau de bourrage et le sol.

La connexion se fait à 60 mètres au moins des fourneaux de mine.

Les mineurs ont si bien pris l'habitude de ces manipulations que tous les tirages se font avec sûreté et sans ratés ; il leur arrive même quelquefois d'établir la connexion avec les deux mains, en se faisant passer le courant au travers du corps.

Lorsque l'on doit tirer des coups de mine en des points où la présence du grisou est soupçonnée, on agit avec plus de prudence. On commence par envoyer un signal au mécanicien qui, à la surface, est chargé de la surveillance des commutateurs, puis on éteint les lampes, et tous les ouvriers remontent au jour ; on lance alors le courant dans les fils de sautage.

Le charbonnage d'Ynishir possède une installation électrique complète. Outre le tirage des mines, tous les services d'éclairage et de signaux sont faits à l'électricité. Il en résulte un travail plus facile et surtout plus rapide, qui se traduit déjà par une augmentation d'environ 10 p. °/₀ dans le poids du charbon extrait.

Sur le Continent, on fait presque exclusivement usage d'amorces à haute tension : amorces Nobel, Abbey, Abel, Bréguet, etc. La plus récente et qui est actuellement en faveur dans les charbonnages belges est l'amorce Scola (type 1889). Les extrémités des fils conducteurs, de 1/2 millimètre de diamètre, dénudées sur 3 à 4 millimètres, sont serrées de chaque côté d'une

petite bande mince de celluloïde ou de caoutchouc vulcanisé. La distance explosive est de 7/10 millimètre. La poudre électrique est un mélange de chlorate de potasse et de charbon de cornue finement pulvérisé.

L'exploseur qui correspond à cette amorce est le coup-de-poing de MM. Scola et Ducretet. Il se compose d'un faisceau de lames minces en fer doux qui s'intercalent entre les lames d'un aimant feuilleté. L'appareil grand type pèse 16 kilog. et donne une étincelle de 3 1/2 millimètres.

Les amorces à fil pourraient être préférées aux amorces à étincelle, tout au moins dans un grand nombre de cas, si elles n'étaient aussi chères. On voit à l'Exposition une amorce de MM. Manet, dont le prix paraît assez modéré.

L'amorce Manet se compose d'un fil de platine de 1/20 millimètre de diamètre et 9 millimètres de longueur, soudé sur une petite languette de bois. La poudre électrique est un mélange de chlorate de potasse et de charbon.

MM. Manet ont créé également un exploseur spécial qui mérite d'être cité. Il comprend deux induits Gramme montés sur un même axe et celui-ci est mis en mouvement par l'intermédiaire d'engrenages et d'une manivelle. Les deux induits tournent autour d'une même pièce polaire. Sur l'axe de la manivelle est monté un petit appareil appelé par l'inventeur le conjoncteur automatique. C'est un système de deux boules qui s'écartent en vertu de la force centrifuge et font glisser sur l'arbre un manchon ; celui-ci agit sur un levier à ressort qui bascule et, en touchant des vis de contact, lance le courant dans le circuit extérieur.

Lorsque l'on commence à tourner la manivelle et avant que les boules du conjoncteur ne se soient déplacées, le faible courant produit passe par une sonnerie

intercalée dans le circuit ; et si celui-ci est bien fermé, autrement dit s'il n'y a pas de défectuosité dans les amorces ou les conducteurs, la sonnerie entre en fonctionnement.

Puis, quant l'écart des boules est devenu suffisant, le courant est lancé dans les amorces. Il y aurait lieu de redouter, au moment où les boules reviennent en place, l'effet de l'étincelle dans une mine grisouteuse. Pour l'éviter, on retient le levier pendant quelque temps sur la vis de contact au moyen d'un petit électro-aimant dit de retenue qui est monté en dérivation sur le circuit des inducteurs, et ce n'est que lorsque la force électromotrice de l'appareil est tombée à moins d'un volt, ce qui correspond à l'arrêt presque complet des induits, que l'électro-aimant de retenue n'a plus assez de force pour maintenir le levier. Mais ce dernier peut alors se déplacer sans danger, parce que le courant est devenu trop faible pour donner lieu à une étincelle nuisible.

ÉCLAIRAGE

L'éclairage électrique dans les mines comprend deux cas particuliers :

1° Eclairage permanent par lampes fixes ;

2° Eclairage par lampes portatives.

Dans le premier cas l'on fait usage de lampes à arc pour la surface et de lampes à incandescence pour le fond.

A la surface, on éclaire les bâtiments de l'exploitation, les bureaux, les cours, les approches des puits, etc. Dans la mine, ce sont les chargeages, les galeries avoisinantes sur 100 à 150 mètres de parcours, les écuries, etc.

C'est dans le fond surtout que les avantages de l'électricité sont particulièrement appréciables. Le travail

devient plus sûr, plus régulier, plus rapide et, circonstance qu'il est bon de signaler, il semble que le moral et la santé du mineur se ressentent de l'accroissement de bien-être que procure une lumière vive et agréable.

L'éclairage permanent n'est pas applicable aux chantiers de travail. D'autre part, l'emploi des lampes portatives reliées aux conducteurs principaux, comme on l'a essayé au début, est dangereux et surtout incommode. La mise en contact donne lieu, en effet, à une étincelle ; de plus, le déplacement du conducteur de jonction présente des difficultés considérables, car un faux mouvement peut briser la lampe, rompre le câble ou supprimer l'isolement.

Il est donc nécessaire, dans les tailles et chantiers, de faire usage d'une lampe indépendante de tous fils conducteurs, aisément transportable, susceptible d'être suspendue au toit, accrochée aux parois, posée à terre, manœuvrée en un mot dans toutes les directions sans rien perdre de son intensité lumineuse.

Une lampe électrique portative donne un pouvoir éclairant d'au moins 1 1/2 bougie, tandis que les meilleures lampes de sûreté donnent au plus 1/2 bougie. La lampe Marsaut est la seule qui dépasse légèrement ce dernier chiffre, soit 0,6 à 0,7 bougie. Or, c'est là une cause d'infériorité considérable pour les lampes ordinaires de sûreté, car elles ne permettent pas au mineur d'explorer le toit dans de bonnes conditions et les statistiques nous apprennent que la majeure partie des accidents dans les mines sont causés par des éboulements ou des chutes de pierres du toit.

Autant le problème de l'éclairage permanent est simple et facile à résoudre, autant celui des lampes portatives est compliqué et difficile. Voici, en effet, les conditions requises d'une bonne lampe électrique de mineur. Elle doit :

1° Etre simple de construction et solide ;

2° Etre aussi légère que possible ;

3° Etre facile à entretenir et à recharger ;

4° Fournir un éclairage d'une intensité à peu près constante pendant huit heures ;

5° Avoir un pouvoir éclairant de 1 à 1 1/2 bougie au minimum ;

6° Dépenser peu.

En prenant comme terme de comparaison la lampe de sûreté du type Davy (Clanny, Marsaut, Mueseler, Fumat, etc.), on voit que celle-ci est simple et solide, qu'elle ne pèse pas plus de 1 à 1 1/2 kilogramme,qu'elle donne une lumière constante de 1/3 à 1/2 bougie pendant dix heures avec une dépense moyenne de 0 fr. 15 environ par poste.

Un des premiers essais de lampe électrique portative est dû à M. Trouvé; le générateur d'électricité est une pile au bichromate, L'incandescence ne se produit que lorsque l'appareil est porté à la main ou suspendu à un crochet. Malheureusement la lampe Trouvé est lourde, sa lumière manque de fixité et ne peut pas durer plus de deux heures.

De nombreux modèles de lampes à piles primaires et secondaires ont été soumis à la Commission anglaise des accidents dans les mines (1879-1886), mais aucun d'eux n'a reçu son approbation.

Depuis 1886 d'importants progrès ont été réalisés et certaines lampes ont été mises à l'essai dans les charbonnages anglais. Telles sont les lampes à pile primaire de Trouvé, de Schanschieff, de Friedlander, de Walker, de Coad, etc. ; les lampes à accumulateurs de Swan, de Pitkin, de Vaughton, de la Syndicate C°, de la Mining and General Electric Lamp C°, etc.

Toutes ces lampes ont l'inconvénient de ne donner

aucune indication sur l'état de l'atmosphère ambiante ; et il faut employer concurrement avec elles, soit une lampe Davy, soit un indicateur de grisou.

Le plus ancien indicateur de grisou est dû à M. Ansell (1865). Il est basé sur le principe suivant :

Le grisou ou même un mélange d'air et de grisou traverse plus rapidement que l'air pur une substance poreuse ; si donc on place un récipient poreux, rempli d'air, dans une atmosphère grisouteuse, le mélange des gaz extérieurs pénétrera dans l'intérieur du vase plus vite que l'air n'en sortira. Il en résultera une augmentation de pression, augmentation d'autant plus grande que l'entrée des gaz grisouteux aura été plus considérable.

Dans l'indicateur Ansell, on fait usage d'un ballon en caoutchouc qui se dilate à mesure que la pression augmente ; et lorsque le gonflement atteint une certaine limite, un appel se produit par la fermeture d'un circuit électrique à sonnerie.

On peut encore citer les indicateurs Libin, James A. Lyon, Livsing et Swan.

M. Swan construit un indicateur qu'il annexe à sa lampe électrique portative. Il utilise, dans ce but, la propriété bien connue que possède un fil de platine porté au rouge de devenir beaucoup plus brillant dans une atmosphère grisouteuse que dans l'air pur.

Il est difficile de dire quel est le genre de lampe portative qu'il faut préférer. Il est certain que dans les mines où existe déjà une bonne installation électrique, la lampe à pile secondaire peut s'employer avec avantage ; mais dans tous les autres cas, la lampe primaire s'impose. Il est vrai d'ajouter qu'il n'existe encore aucune lampe à pile primaire réellement pratique et répondant aux exigences de l'éclairage portatif dans les mi-

nes, telles que les a formulées le professeur Sylvanus Thomson :

1° Force électro-motrice élevée et sensiblement constante ;

2° Résistance intérieure aussi faible que possible ;

3° Impolarisable et ne s'épuisant pas trop vite ;

4° Ne faisant plus de dépense dès que le circuit est ouvert ;

5° Appareil à bon marché, de construction solide, d'un maniement simple et n'émettant ni gaz ni fumées corrosives.

Les lampes actuellement connues sont loin de réaliser tous ces desiderata. Les unes sont trop chères, trop lourdes, trop encombrantes ou trop résistantes ; les autres sont dangereuses à manier parce qu'elles renferment des liquides corrosifs ou dépensent sans discontinuité.

Mais si le problème de la lampe portative de mine n'est pas encore entièrement résolu, il n'en est pas moins certain que les avantages de l'éclairage électrique restent indiscutables. Il y a même des cas où celui-ci s'impose de préférence à tout autre système. C'est ainsi que dernièrement la Compagnie des mines d'Anzin, mettant à profit une chute d'eau souterraine, a pu organiser dans une de ses fosses un éclairage électrique fixe très économique.

La dépense de premier établissement pour une turbine, une dynamo et 12 lampes n'a pas dépassé 2.300 francs ; et le coût de l'éclairage revient à 2 fr. 83 par jour. L'emploi de 20 lampes d'accrochage, donnant une lumière beaucoup moins vive, eût coûté au minimum 4 francs par jour (*Comptes-Rendus de l'Industrie minérale*, 1889, p. 27).

SIGNAUX

Dans les mines où l'on dispose d'un courant électrique, tous les services du fond et de la surface sont reliés par des sonneries ou des postes téléphoniques. Les signaux à sonnerie sont donnés au moyen de leviers commutateurs à ressort ou coups-de-poing avec timbres de douze à quinze centimètres de diamètre.

Le code de signaux est en général très simple et se réduit à un, deux ou trois coups de sonnette.

Au moyen des signaux et du téléphone on établit une communication permanente et instantanée entre la surface et le fond. La mine cesse d'être isolée et l'on peut dire que tous ses mouvements, toutes ses pulsations, se trouvent répercutés au dehors. En cas d'accident, des secours peuvent être immédiatement réclamés et portés.

De plus, la combinaison de signaux et d'éclairage électrique dans les chargeages permet d'obtenir une grande rapidité dans le travail d'extraction. Les cages ou bennes montent et descendent pour ainsi dire sans interruption, sans fausse manœuvre ; par une simple pression de la main sur le levier des sonneries en haut et en bas du puits, les mouvements sont constamment contrôlés et le travail devient plus sûr et plus utile.

Parmi les installations de signaux électriques dans les charbonnages français, je citerai celui de Blanzy par M. Mathet et celui des mines de Rochebelle par M. de Place.

PERFORATION MÉCANIQUE

La manœuvre des perforatrices à percussion par l'électricité présente d'assez grandes difficultés ; cependant quelques essais intéressants ont été faits en Amé-

rique par la Sprague Electric Motor C°, la Union Electric C°, la Sperry Electric C° et divers ingénieurs.

Dans tous les cas, le foret est relié par des bielles à l'armature d'un moteur électrique dont chaque révolution correspond à un coup battu par l'outil ; les chocs sont amortis par des ressorts.

L'adaptation d'un moteur électrique aux perforatrices rotatives, à taillant d'acier ou de diamants, est relativement plus facile. Le mouvement de l'armature peut, en effet, être communiqué directement aux engrenages qui commandent le porte-outil.

M. Taverdon a fait quelques tentatives dans ce sens avec sa perforatrice à couronne de diamants ; M. Tedesco a également cherché à appliquer une commande électrique aux perforateurs à vis Fontan et Tedesco.

Dernièrement M. Bornet, l'inventeur des perforatrices à main dites : Jubilé, Charbonnière, Cantin perfectionnée, etc., a eu l'ingénieuse idée de faire fonctionner ces appareils par l'intermédiaire d'un flexible commandé par une dynamo.

Voici l'une des dispositions adoptées :

La perforatrice étant montée sur un affût, sa vis de rotation est actionnée par un flexible, de 16 millimètres de diamètre, qui reçoit son mouvement d'un petit moteur électrique monté sur rails. Une combinaison de roues d'engrenage permet d'obtenir la vitesse voulue, soit 17 tours pour un Jubilé, ou 68 pour une perforatrice grand modèle.

Le flexible peut avoir jusqu'à 10 mètres de longueur et il transmet au maximum 4 chevaux de puissance ; mais il suffit de 1/10 à 1/2 cheval pour actionner une perforatrice Bornet.

Cette utilisation du câble flexible est des plus intéressantes ; celui-ci peut d'ailleurs servir à une foule d'au-

tres applications en combinaison avec le moteur électrique.

HAVAGE MÉCANIQUE

La haveuse électrique de MM. Bower, Blackburn et Mori, a été essayée en Angleterre en 1887.

Le chariot porte-outil, qui se compose principalement d'une barre armée de lames ou couteaux de forme étoilée, reçoit son mouvement d'un moteur électrique installé sur le même bâti et d'une force de six à neuf chevaux. Ce moteur est relié par des conducteurs flexibles à une dynamo qui fait 600 tours par minute.

La barre haveuse décrit un quart de cercle dans le massif de charbon qu'elle entaille sur une profondeur d'un mètre environ.

Le chariot est mû par des treuils qui permettent de le déplacer le long du front de taille.

On peut se dispenser de fixer le moteur sur le chariot, mais alors il faut faire usage d'une transmission par chaînes ou par poulies et courroies.

La haveuse Lechner, essayée dans les houillères de Pensylvanie, est reliée à un moteur électrique par une transmission à corde. Un seul moteur peut faire le service de trois haveuses opérant successivement, ce qui permet d'effectuer un travail continu, car tandis que la deuxième ou troisième haveuse fonctionne, on charge sur wagonnet le charbon abattu par la première.

M. Castel. — La discussion des sujets, qui concernent spécialement l'art des mines, sera certainement terminée dans la séance de ce jour ; mais il reste un certain nombre de questions, qu'on pourrait appeler latérales, sur lesquelles plusieurs de nos collègues ont demandé à parler et qui offriraient évidemment beaucoup d'intérêt. Je pourrais vous citer, par exemple, la communication que demande à faire M. Guilhaumat sur

une méthode d'exploitation d'un gite puissant très inflammable et fortement incliné, celle de M. Petiton sur une machine à bras perforatrice à diamants, un travail de M. Syroczynski sur le forage canadien, un autre de M. Maignen sur un procédé perfectionné de lavage, etc. L'étude de ces questions exigerait au moins une séance, et la séance de demain doit être consacrée, vous le savez, à terminer la discussion des questions relatives à la métallurgie.

Je vous proposerai, en conséquence, d'avoir demain deux séances, l'une relative à la métallurgie, qui se tiendra dans cette salle, et l'autre relative aux mines, dans laquelle on traiterait les questions que je viens d'énumérer. (*Assentiment.*)

M. Coxe. — Je voudrais dire deux mots seulement de la question qui vient d'être traitée.

Depuis sept ou huit ans, aux Etats-Unis, on a employé l'électricité pour le roulage souterrain dans les mines d'anthracite. Il y a un an environ, j'ai eu moi-même l'intention de faire une installation de ce genre dans mes mines ; je suis allé voir des installations analogues et je me suis adressé à l'ingénieur qui les avait établies en Pensylvanie. Ce dernier m'a conseillé d'attendre encore parce qu'il compte apporter à ces installations des perfectionnements indispensables.

L'orateur, au moyen de figures qu'il trace sur le tableau, explique comment s'effectue ce roulage, indique la forme et la dimension des wagons et signale les difficultés que rencontre ce mode de traction. Dans la mine qu'il a visitée, la ligne a une longueur de 20 kilomètres, et on traîne 20 wagons à la fois.

Dans nos ateliers, continue l'orateur, comme nous voulons travailler jour et nuit, nous avons installé des appareils électriques. Il y a deux ans, une de nos plus

belles installations de ce genre a brûlé. Aussi ne mettrons-nous jamais l'électricité dans un milieu grisouteux. Le transport se fait alors au moyen de mulets et de wagons ordinaires pouvant transporter de 12 à 13 tonnes.

En ce moment, nous cherchons à remplacer ce mode de transport par des locomotives à air comprimé. Le danger du grisou est si grand, en effet, qu'il faut renoncer dès à présent, suivant moi, à l'électricité comme moyen de transport ou d'éclairage dans les mines.

L'installation électrique serait-elle parfaite par elle-même et ne présenterait-elle aucun danger, qu'il faut compter encore avec l'imprudence des ouvriers. Un jour, dans nos ateliers, nous en avons trouvé un, en qui cependant nous avions toute confiance, qui, après avoir bourré sa pipe, l'allumait avec le détonateur. *(Hilarité.)*

Il faudrait, pour que les ouvriers se conformassent aux règlements, les bien convaincre de ceci : c'est que les règlements ne sont pas faits dans l'intérêt des exploitants, mais dans l'intérêt des ouvriers; que si le patron trouve dans l'exécution du règlement 1 p. °/₀, par exemple, d'avantage, les 99 autres p. °/₀ sont à l'avantage de l'ouvrier. *(Applaudissements.)*

M. Fumat. — Messieurs, je vous demande pardon de revenir sur une question qui a déjà été traitée à fond dans une de nos dernières séances, mais au point de vue de la sécurité dans les mines, et après ce qui vient d'être dit de l'électricité, la question des lampes de sûreté présente tant d'intérêt qu'on ne saurait trop y insister.

C'est parce que je crois que vous aurez avec l'appareil dont je suis l'inventeur une lampe parfaitement résis-

tante et présentant la moindre somme de danger possible, lampe, du reste, essayée avec succès à Paris et en Angleterre, que je vous prie de la soumettre à des essais décisifs.

J'ai longuement étudié cette question des lampes de sûreté et grâce aux excellentes leçons de mes professeurs, MM. Mallard, Marsaut, Le Châtelier, que je tiens à remercier ici publiquement, je crois être arrivé au meilleur résultat. Dans tous les cas, je vous prie, Messieurs, encore une fois de vouloir bien soumettre mon appareil à des essais décisifs.

M. de Bovet. — Messieurs, Je voudrais ajouter quelques mots à ce qui vous a été dit déjà au sujet de l'emploi de l'électricité dans les mines comme moyen de transmission de force. C'est, ce me semble, une des questions les plus intéressantes pour le mineur.

Chacun sait en effet de quelle importance est la faculté d'avoir au fond des mines de la force motrice disponible et combien il peut être avantageux et économique d'y avoir des machines assez puissantes pour développer sérieusement dans certains quartiers les exploitations en vallée. C'est justement à ce besoin que répond l'installation du treuil d'Anzin dont vous venez d'entendre la description.

Or, de tous les moyens auxquels on peut avoir recours pour obtenir ce résultat, le plus économique, celui dont l'emploi est le plus facile, est à coup sûr la transmission électrique de la force. M. Chalon vous l'a dit, il n'y a qu'un instant, et je ne puis que m'associer à ses paroles. Le matériel nécessaire est peu coûteux, il n'est pas lourd et, ce qui vaut mieux encore, il est aussi peu encombrant que possible, eu égard à sa faculté de transmission. La surveillance et l'entretien en sont faciles,

car il n'y a pas de machines aussi simples et comportant aussi peu de parties susceptibles de détériorations.

L'organe qui sert de conducteur à l'énergie depuis son point de production jusqu'à son point d'utilisation est un câble assez souple pour suivre facilement toutes les sinuosités des travaux souterrains, indifférent aux montées, aux descentes, aux changements brusques de direction, passant partout, pouvant se poser lâche et permettant par conséquent les épissures faciles, et les ingénieurs d'Anzin qui viennent d'en faire l'essai auraient pu nous dire combien la pose en est plus simple et plus rapide que celle d'une conduite d'air ou de vapeur. A cette facilité de pose correspond du reste une autre qualité non moins précieuse, c'est une extrême facilité de déplacement dès qu'il y a lieu de modifier la situation des appareils récepteurs.

Le fonctionnement des machines ne produit ni chaleur appréciable dans les travaux, ni gaz à évacuer comme avec les foyers souterrains, et à tous ces avantages vient se joindre celui d'un rendement très élevé.

Ce rendement, du reste, on en dispose à volonté dans des limites étendues ; il suffit de donner au câble une section suffisante, autrement dit, de consentir sur les frais de première installation la dépense nécessaire. Au surplus, et c'est là un point capital, il ne peut y avoir de bon rendement qu'avec une très bonne isolation de la ligne ; dans les conditions particulières des galeries de mines, on peut même dire qu'il ne peut y avoir de marche assurée qu'avec une très bonne isolation de la ligne : c'est une condition qu'il faut accepter de toute nécessité, et cette isolation obligatoire représente une si grosse part de la valeur du câble qu'il n'y a, en fait, aucun intérêt à reculer devant la section de cuivre nécessaire pour permettre d'arriver aux gros chiffres de rendement que vous signalait M. Chalon et

qu'aucun autre mode de transmission, applicable dans les mines, ne permettrait d'atteindre.

En résumé, dans son ensemble, une transmission électrique présente tout justement les qualités qui rendent son adaptation particulièrement facile pour les transports de force dans les mines ; malheureusement, il se produit toujours des étincelles sur les collecteurs qui en interdisent l'emploi dans les milieux grisouteux. Eût-on recours à des machines à courants alternatifs, comme, en somme, il peut encore se produire accidentellement des étincelles en un point quelconque de la ligne, le danger serait peut-être diminué, mais il n'en subsisterait pas moins, si bien qu'il faut, je crois, proscrire dans les mines à grisou l'emploi de machines dynamos.

Il reste à de telles mines une ressource précieuse : c'est l'air comprimé, qui non seulement n'apporte avec lui aucun danger, mais qui, au contraire, augmente d'autant plus les conditions de sécurité qu'il est employé sur une plus grande échelle. C'est du moins l'avis de très bons juges (avis auquel je me rallierais volontiers) qui, lors du terrible accident du puits Verpilleux, ont tout naturellement pensé à l'installation de Blanzy, dont M. Chalon vous a dit tout le mérite, comme à un modèle de ce qu'il faudrait recommander pour rendre plus difficile le retour de pareilles catastrophes. C'est un mérite de plus à ajouter à celui qu'elle a déjà d'être un remarquable exemple d'installation au point de vue mécanique.

J'estime, dans ces conditions, que la comparaison entre le prix de revient du cheval-vapeur obtenu au fond d'une mine par l'emploi de l'air comprimé et par l'emploi de l'électricité n'aurait qu'un intérêt secondaire si elle ne devait avoir pour but que de faire choisir l'un ou l'autre système dans cette même mine, abstraction

faite de toute autre considération. Mais comme ce prix de revient est, en somme, tout à fait indépendant de la présence du grisou, elle reprend au contraire toute sa valeur s'il est bien entendu que l'emploi de machines électriques est proscrit dans les milieux grisouteux. M. Chalon l'a faite en prenant comme exemple une installation d'air comprimé extrêmement remarquable et fort importante ; il a montré que, même ainsi, elle était tout à l'avantage de l'électricité, et la démonstration est bonne à retenir, car il y a, grâce à Dieu ! beaucoup de mines sans grisou.

L'importance que présente la transmission électrique de la force pour les travaux du fond ne me semble donc faire aucun doute, et il y a là un vaste champ ouvert à des tentatives intéressantes, mais j'estime, pour ma part, qu'elle n'en présente pas moins pour les travaux de surface, et c'est sur ce point que je voudrais attirer l'attention du Congrès.

Une mine a, en effet, besoin de force motrice pour les services du puits. Dans les houillères, rien de plus simple, on est à la source ; mais toutes les mines ne sont pas des mines de houille, et les mines métalliques sont obligées ou de faire venir du combustible, parfois à grands frais, ou de chercher à utiliser pour leurs besoins et quand la chose se peut les cours d'eau du voisinage. Cette utilisation des forces motrices naturelles est particulièrement précieuse dans les pays neufs et de peu de ressources comme matériel, et l'intérêt est d'autant plus grand que c'est presque toujours par l'exploitation des mines que commencent, dans de telles régions, les premières tentatives industrielles. Or, cette appropriation des cours d'eau aux besoins d'une exploitation ne va pas sans difficulté : c'est à l'orifice du puits qu'il est nécessaire d'avoir des machines ; il faudra donc ou amener un canal, quelquefois à

grands frais, jusqu'au point choisi pour l'emplacement d'un puits, ou, si c'est impossible, choisir pour y creuser ce puits un point voisin de celui où l'on pourra faire aboutir le canal en sacrifiant les avantages qu'aurait pu donner un emplacement mieux approprié aux nécessités de l'exploitation, et en consentant par conséquent à de grosses dépenses.

Il est de toute évidence qu'il y aura toujours avantage à pouvoir créer une chute d'eau d'une part ; à pouvoir, d'autre part, disposer les travaux d'exploitation en ne recherchant que les solutions que l'état des lieux rend les plus favorables. Cette indépendance précieuse des différentes parties de l'exploitation qui n'est possible que si l'on dispose d'un procédé pratique et commode pour la transmission de la force et l'emploi de l'électricité, qui permet d'accepter des distances pouvant, sans inconvénient et sans exagération, varier de quelques centaines à quelques milliers de mètres, offre par ce seul fait de très grandes facilités. Elle conserve, du reste, avec cet avantage capital tous ceux que nous avons signalés déjà : la petitesse relative du poids du matériel est précieuse dans les pays où les transports sont difficiles ; l'installation reste toujours plus simple que celle de tout autre procédé (eau, air, câble télodynamique) qui, du reste, ne saurait atteindre aux mêmes distances de transport ; quant aux facilités que présentent l'entretien et la conduite des machines, un exemple que je vous demanderai la permission de choisir dans mes souvenirs personnels peut en donner idée. Il y a de cela quelque cinq ou six ans, j'avais eu occasion d'installer un transport de force pour un plan incliné dans une exploitation de diamant près de Diamantina, dans une région du Brésil difficilement accessible et où un moteur quelconque, du reste, eût été presque une nouveauté. Le jour des essais, les ouvriers, tous nègres ou

mulâtres, qui avaient suivi l'installation avec un vif intérêt, mais sans réussir à rien comprendre, témoignaient d'une façon non équivoque leur profonde surprise. Au passage du premier wagon, quelques-uns étaient à genoux dans le sable ; au bout de trois à quatre jours, l'un d'eux s'acquittait très régulièrement, presque sans surveillance, de la manœuvre du mouvement du plan incliné.

En somme, l'emploi de transmission électrique peut être de tout autant d'utilité à la surface qu'au fond pour distribuer aux diverses parties d'une installation l'énergie qu'il peut être parfois plus facile de produire en un point qu'en un autre.

Je suis convaincu que les applications s'en multiplieront assez vite (il y en a déjà, à ma connaissance, même pour la commande de bocards), présentant une série de problèmes intéressants et de solutions variées. En attendant qu'une pratique assez longue ait montré quelles sont les meilleures, on ne peut que réunir sur celles qui existent le plus de renseignements possibles et c'est à ce titre que je vous demanderai la permission de vous donner quelques indications sur une installation assez complète que j'ai eu l'occasion d'étudier il y a quelques mois, de concert avec notre collègue M. Boutan. Il s'agissait d'organiser tout le service d'un puits (extraction et épuisement) au moyen de machines dynamos pour une mine située au Brésil, dans une région devenue déjà facilement accessible, mais encore bien dépourvue comme ressources, tout au moins au point de vue mécanique. Et, dès maintenant, je vais justifier une des affirmations que j'ai faites : l'emplacement du puits ayant été choisi uniquement en vue des travaux d'exploitation, il a été possible de ne s'en préoccuper aucunement pour le choix du tracé du canal ; le matériel électrique entier a coûté environ

30.000 francs, et cette somme doit être augmentée d'autant pour frais de transport et d'installation, mais la possibilité de ne pas conduire le canal jusqu'au puits a permis de se contenter de 6 kilomètres de canal au lieu de 16 à 17 qui auraient été nécessaires, et le kilomètre coûte environ 40.000 francs. On a abouti ainsi à 1.500 mètres du puits, et c'est par conséquent à cette distance absolument acceptable que doit se faire la transmission.

Je ne prétends nullement faire ici la description complète de l'organisation de cette transmission ; on l'installe en ce moment, et il sera grand temps de la décrire quand on pourra en même temps donner des indications précises sur son fonctionnement ; je ne veux que dire comment elle a été conçue et les raisons des choix qui ont été faits. Vous verrez que l'on est arrivé pour le treuil d'extraction à une solution différente de celle qui a été appliquée à Anzin ; je ne vous la présente pas comme meilleure, elle est autre, rien de plus ; c'est fort naturel, puisque les conditions locales sont elles-mêmes tout autres, à tous égards, et tellement différentes que l'on pourrait presque dire que si la même solution avait été adoptée dans les deux cas, elle serait mauvaise au moins une fois, tandis qu'il est permis de penser qu'étant différentes, toutes deux sont bonnes.

Il y avait avant tout à tenir compte de ces conditions locales que je résumerai brièvement : un personnel dirigeant européen, très peu nombreux, un personnel indigène facile à recruter, mais sans aptitudes spéciales et complètement étranger à la pratique d'un matériel mécanique quelconque en dehors des roues à augets qu'on emploie assez couramment dans le pays, où on les construit en bois ; aucun marché local, d'où la nécessité pour les rechanges de vivre uniquement sur les ressources du magasin de la mine où il serait d'une

mauvaise économie d'entasser plus de matériel qu'il n'est strictement nécessaire ; aucune industrie locale, d'où la nécessité de se contenter, pour les réparations et réfections, du petit atelier créé pour la mine ; très grande lenteur de communications, telle qu'il faut compter 4 à 5 mois entre le moment où une commande est adressée en Europe et celui où elle parvient à destination.

Il y avait donc une nécessité impérieuse à envoyer un matériel assez robuste pour réduire au minimum les probabilités de mise hors de service d'un appareil quelconque et, en outre, à organiser une installation assez simple pour supprimer, si faire se peut, les chances d'accidents qui pourraient être dues à l'insuffisance technique du personnel.

On a adopté comme moteurs des turbines à axe horizontal pour les motifs suivants : 1° leur vitesse se prête mieux que celle des roues à augets à la commande des dynamos et elles sont beaucoup plus que les roues susceptibles d'être munies de régulateurs ; 2° nous avons trouvé un constructeur qui nous a fait des turbines bien construites, de petites dimensions, qui, avec 12 mètres de chute et un diamètre extérieur de $0^{m},70$, donnent 20 chevaux, et qui, par conséquent, vu leur petitesse, peuvent être expédiées presque entières et ne présentent aucune difficulté de montage. Elles sont munies de régulateurs et commandent les générateurs par une courroie. Il est clair qu'elles seront plus difficiles à réparer, s'il y a lieu, que des roues qui auraient été construites sur place, mais elles n'apportent, je crois, pas plus de causes d'accidents que l'ensemble des appareils qui seraient nécessaires pour multiplier convenablement la vitesse d'une roue.

On a admis la séparation absolue des deux services de l'extraction et de l'épuisement qui auront chacun

leurs moteurs, leurs dynamos et leur ligne propre. Cela est peut-être un peu plus coûteux que n'eût été une distribution du courant, à l'arrivée d'une seule ligne, entre les diverses réceptrices ; mais du moins cela apportera en service une simplification qui répond à l'une des deux nécessités que j'ai signalées il y a un moment, celle de ne rien demander au personnel ouvrier qui risque de dépasser ses moyens. Cette réparation est, du reste, rendue facile par la nature du moteur choisi, petit, maniable, et susceptible d'être installé à autant d'exemplaires qu'il sera nécessaire. Elle a, de plus, l'avantage qu'en cas d'avarie à la transmission des pompes, on pourra utiliser, pour assurer le service de l'épuisement, le courant de l'autre transmission.

Ceci dit, comme considérations générales, j'arrive à ce qui concerne spécialement chacun des deux services.

1° *Treuil d'extraction.* — Il est bien clair que l'on ne peut songer, même avec le secours d'un téléphone, à faire de loin, depuis les machines génératrices, les manœuvres d'un puits d'extraction, et que, pour assurer un service régulier et rapide, il faudra opérer au treuil même et avoir à chaque instant la réceptrice prête à faire ce qu'on lui demandera. Autrement dit, il faudra que le moteur et la génératrice soient constamment maintenus en marche, inutilement pendant les arrêts, et c'est la raison qui rendra très précieux un bon régulateur sur la machine motrice.

Quant aux dispositions à prendre à la réceptrice, elle peuvent être très variées. On peut, sans toucher à la réceptrice, recourir pour les arrêts et les mises en marche à des procédés purement mécaniques ou, au contraire, agir sur la réceptrice en s'organisant de façon à l'arrêter et à changer à volonté son sens de rotation. En ce dernier cas, les moyens à mettre en

œuvre sont extrêmement variés, d'autant plus qu'on peut employer soit des machines en série, soit des machines en dérivation, agir par conséquent soit sur le courant total, soit, dans le deuxième cas, sur l'un ou l'autre des courants dérivés, et enfin accepter ou proscrire la manœuvre des balais. Si le circuit doit être coupé pour les arrêts, on devra naturellement employer des rhéostats de rupture, mais il n'est même pas besoin de couper le circuit. J'ai eu, par exemple, occasion de voir, il y a quelques mois, en essais, un moteur à 4 pôles étudié pour tramways électriques, monté en dérivation, avec 2 balais à 90°, d'une forme spéciale qui les rendait indifférents au sens de rotation du collecteur, et dans lequel l'arrêt de la machine est obtenu en amenant les balais sur la ligne neutre par une rotation de 45°, sans que le courant cesse de passer dans l'anneau.

Au surplus, dans cet ordre d'idées, tout ce qui a été étudié ou proposé pour les tramways électriques s'appliquerait évidemment à la manœuvre d'un treuil d'extraction, puisque c'est exactement un travail de même nature qu'il s'agit de produire, l'un et l'autre service exigeant que les appareils puissent marcher et démarrer facilement en charge dans chaque sens.

Vous avez vu, par la description du treuil installé à Anzin, un exemple d'une disposition dans laquelle la dynamo était montée en dérivation, l'arrêt obtenu en agissant seulement sur le circuit de l'induit et le fonctionnement assuré sans qu'il y ait à toucher aux balais ; on a estimé à Anzin que l'appareil ainsi établi présentait de suffisantes garanties pour pouvoir être abandonné au fond de la mine entre les mains d'un ouvrier très jeune, et j'en suis pour ma part très convaincu.

Mais, du moins, il y a dans une mine comme celle d'Anzin une surveillance générale constante exercée par

un nombreux personnel (ingénieurs et contre-maîtres), qui donne évidemment plus de sécurité que celle sur laquelle on peut compter avec un personnel européen très peu nombreux, secondé comme je vous l'ai dit au point de vue technique, sans compter que, ne fût-ce qu'à raison de l'influence du milieu dans lequel il a été élevé, le jeune ouvrier d'Anzin a évidemment une aptitude à se faire à une machine toute nouvelle que nous ne pouvons espérer rencontrer dans le personnel recruté dans un pays où il n'y a jamais eu d'industrie quelconque.

Dans ces conditions, nous avons renoncé *à priori* à faire les manœuvres en mettant la réceptrice hors circuit. Il s'agit, en somme, d'un service d'extraction, dans un puits vertical, et à assez grande vitesse (1 mètre par seconde) ; il est impossible, comme sur un plan incliné, d'avoir en haut un adoucissement de pente ou même une plateforme, et dès lors la rupture du circuit pour l'arrêt devrait toujours se faire à pleine charge : en outre, il faut compter avec un manque d'attention possible du mécanicien. Au moment où il s'apercevra (et cela arrivera presque forcément) qu'il a, par inadvertance, laissé la benne arriver à la bouche du puits, près des molettes, avec toute sa vitesse, il n'aura qu'une préoccupation, arrêter au plus vite : et alors quelles que soient par ailleurs les dispositions prises, il coupera le circuit avec toute la brusquerie possible, tout justement dans les conditions qui peuvent rendre cette rupture particulièrement dangereuse et risquer à mettre hors de service une dynamo. C'est justement là le genre d'accident qui, par suite des conditions locales que j'ai dites, serait le plus difficile à réparer. Il est en effet possible, avec le petit atelier de la mine et les ressources que peut présenter pour les organes de machines courantes, sinon la localité, du moins la place

de Rio-de-Janeiro, d'aborder une réparation de machine, alors qu'on n'y peut plus songer s'il s'agit d'une dynamo, qu'on ne saurait ni réparer sur place, ni se procurer dans le pays. Autrement dit, les accidents survenus au matériel mécanique seront, dans notre cas, beaucoup moins graves que ceux survenus au matériel électrique, et c'est, par conséquent, de ceux-ci qu'il faut d'abord se garer.

Donc, pas de rupture de circuit : la réceptrice devra, comme la génératrice, être maintenue toujours en marche, tournant, par conséquent, toujours dans le même sens. Notons, en passant, que cela supprime toute difficulté et toute hésitation quant à la position à donner aux balais. On a proscrit pour la commande l'usage des courroies : la dynamo attaque le premier arbre du treuil au moyen d'un pignon en acier engrenant avec une roue à dents de bois, et on met en marche avec un appareil d'embrayage à ressorts, système Mégy, qui permet de donner à la manœuvre un moelleux suffisant.

Dans la position moyenne du levier, le premier arbre du treuil tourne librement sans rien entraîner : le mouvement en avant ou en arrière est obtenu en poussant le levier vers la droite ou vers la gauche.

Je ne donnerai pas ici la description de la partie mécanique du treuil ; j'ajouterai seulement qu'il est muni d'un frein automatique, système Mégy également, qui permet le mouvement dans les deux sens, toutes les fois qu'il reçoit de la machine un effort supérieur à celui qu'exerce la charge, et qui s'oppose de lui-même à tout mouvement dans un sens ou dans un autre, dans le cas contraire.

L'extraction se fera par bennes guidées . il peut se produire telle circonstance, si la benne se coince, par exemple, qui augmentant considérablement la résis-

tance à vaincre pourra être cause d'un accroissement d'intensité dans le circuit, de nature à compromettre les dynamos. Mais ces dynamos ont été, comme j'aurai occasion de l'indiquer dans un instant, choisies très robustes pour le service qu'elles auront à faire normalement, et le glissement du ressort dans la boîte d'embrayage peut se produire par un effort supérieur naturellement à celui qu'exige la montée des bennes, mais inférieur à celui qui créerait un courant dangereux pour les machines.

Il résulte évidemment de cette organisation que l'effort résistant se trouvant brusquement supprimé au moment de l'arrêt des bennes, l'ensemble des moteurs et dynamos pourra s'emballer et, en tous cas, travaillera à vide pendant la durée des arrêts. L'accroissement de vitesse, si on le laissait se produire, mauvais en lui-même, le serait d'autant plus pour la réceptrice, qu'il conduirait, lors de la remise en marche, à faire des embrayages sur un arbre tournant au-delà d'une vitesse normale, qui est déjà très grande. Il y avait là une raison très sérieuse pour faire choisir, comme moteurs, de préférence à des roues, des turbines auxquelles il est beaucoup moins difficile d'adapter un bon régulateur.

Non seulement, ce régulateur doit permettre d'éviter l'emballement des turbines, mais à condition qu'il soit suffisamment sensible (d'autant que les manœuvres sont très fréquentes) et dans la mesure de sa sensibilité, il doit permettre de diminuer la quantité de travail inutilement produit pendant les arrêts des bennes, et qu'il faut absorber de façon ou d'autre.

Dans ce but, on a disposé à côté du treuil un rhéostat, qui est introduit dans le circuit par la manœuvre du levier d'embrayage. Ce rhéostat est établi de façon à

pouvoir absorber la totalité du travail fourni par la génératrice, sauf la quantité nécessaire pour maintenir en marche la réceptrice, de telle sorte que le système pourrait fonctionner sans l'intervention du régulateur de la turbine, ou pourra marcher même quand le régulateur se trouvera accidentellement hors de service.

De plus, il est fractionné en portions qui aboutissent aux touches d'un commutateur. L'introduction de la résistance dans le circuit (ou sa suppression) se fait automatiquement, mais la quantité de résistance ainsi introduite dépend de la position de la manette du commutateur. Celle-ci sera toujours facilement déterminée à un moment quelconque, à raison de la façon plus ou moins satisfaisante et plus ou moins rapide dont fonctionnera le régulateur de la turbine et en vue de ne laisser se produire dans la variation de vitesse des machines que les écarts minimum. Ce sera affaire au personnel supérieur de l'exploitation de vérifier et de rectifier à l'occasion la position de la manette dont le mécanicien n'aura, par conséquent, pas à se préoccuper pour les manœuvres courantes de service.

Il est clair que plus le régulateur sera sensible et agira rapidement, plus on pourra diminuer la quantité de travail à demander aux turbines pendant les arrêts. Il y a là une question intéressante que je ne fais que signaler en passant.

Epuisement. — Le problème est beaucoup moins compliqué que pour l'extraction, il n'y a plus à faire de manœuvres fréquentes, le sens de marche reste le même et comme, en somme, une machine dynamo travaille dans des conditions d'autant meilleures qu'elle a à produire un effort plus régulier, il n'y a qu'à chercher un type de pompe qui réponde le plus possible à ce *desideratum*. On y arrivera évidemment en remplaçant un corps de pompe unique par un certain nombre de

corps de pompe de moindre section pouvant engendrer ensemble le même volume. Il semble, en outre, absolument légitime de mettre à profit la facilité qu'il y a à prolonger le câble conducteur pour supprimer les tiges longues et encombrantes dans le puits en plaçant les pompes au fond On obtiendra ainsi un ensemble se rapprochant du type des pompes employées pour fouler l'eau dans les accumulateurs hydrauliques : c'est bien, du reste, exactement la même nature de travail qu'il s'agit de produire.

En fait, la pompe que nous avons fait construire se rapporte absolument à ce type. Elle a 4 pistons plongeurs commandés deux à deux par 2 manivelles à 90°, qui reçoivent le mouvement d'une dynamo au moyen d'une courroie et d'un système d'engrenages retardateurs. Cette pompe peut utiliser un travail de cinq chevaux : l'ensemble, dynamo comprise, est monté sur un même bâti et n'occupe qu'une surface très restreinte.

Elle est destinée à être placée au bas du puits. Or, pendant que d'une part on travaillait au canal, on avait en même temps creusé le puits et commencé, au fond, un travers-bancs pour rejoindre le filon. La situation topographique de la mine est telle que l'on devait légitimement s'attendre à n'avoir que très peu d'eau et, par le fait, on en eut à peine pendant le creusement du puits, si peu qu'un manège à deux mulets actionnant une pompe élévatoire en avait facilement raison avec un travail intermittent.

La venue d'eau augmenta sensiblement pendant l'exécution du travers-bancs jusqu'au jour où, déjà dans le voisinage du filon, l'exécution d'un coup de mine mit à jour une venue d'eau telle que les travaux furent noyés sans qu'il fût possible de parvenir à les dénoyer avec le manège. Lorsque dans les derniers

jours de mai de cette année le canal fut enfin terminé et put donner de la force motrice, le puits était toujours noyé et l'installation de la pompe au fond était, par conséquent, impossible. La turbine des pompes, la génératrice, la ligne étaient en place ; on avait supprimé le manège, dont l'insuffisance était démontrée, et on avait disposé la réceptrice de façon qu'elle pût attaquer le balancier de la pompe élévatoire qui était dans le puits : il avait suffi pour cela de deux arbres portant l'un une poulie et un pignon, l'autre une roue dentée et une manivelle. On mit en marche tout de suite, et depuis, pendant deux mois et demi, toute l'installation a pu fonctionner sans interruption et dénoyer le puits jusqu'à une profondeur de 30 à 35 mètres, suffisante pour permettre la reprise des travaux.

Les courriers successifs nous ont tous signalé la très bonne marche de l'ensemble de la transmission électrique, quoiqu'elle travaille dans des conditions évidemment médiocres, puisqu'elle agit sur un appareil qui a deux points morts bien nets et demande, par conséquent, un travail irrégulier.

Cette irrégularité de travail se traduit à l'œil sur les instruments de mesure : l'aiguille de l'ampère-mètre, accuse pendant un coup de piston complet deux maximum correspondant aux moments où la manivelle est perpendiculaire à la ligne des points morts et deux minimum correspondants aux deux points morts.

La pompe est montée à la façon ordinaire, attachée à l'une des extrémités d'un balancier, qui porte un contrepoids à l'autre extrémité : tant que l'équilibre est satisfaisant, les deux oscillations de l'aiguille sont sensiblement égales ; elles deviennent plus ou moins inégales dès que l'équilibre est plus ou moins détruit pour quelque cause que ce soit.

Il est alors facile de le rétablir en modifiant le contre-

poids et de s'assurer, par la vue de l'aiguille, du moment où il est redevenu correct. C'est dire que l'on a trouvé là un moyen de réglage intéressant que je signale en passant.

L'inégalité de travail entre le plus grand maximum et le plus petit minimum d'un coup de piston est grande : autant qu'on a pu la mesurer exactement (il y a 2 maximum et 2 minimum par coup et la pompe marche à raison de 11 coups par minute), elle peut aller de 750 watts à 1.950 et malgré ces très gros écarts les dynamos se comportent d'une façon absolument satisfaisante, sans échauffement anormal.

Cela tient, il est vrai, à ce qu'on ne leur demande actuellement qu'un travail très inférieur à celui qu'elles pourraient produire ; il est clair que si elles fonctionnaient près de leur limite, on ne pourrait pas les soumettre impunément à un pareil régime, mais je me suis laissé aller à vous donner ces quelques détails, parce qu'ils montrent bien, il me semble, avec quelle souplesse ces machines se prêtent à ce qu'on veut leur faire faire. Ils montrent également la facilité qu'elles donnent, une fois les génératrices installées, d'avoir de la force motrice là où besoin est.

Je n'ai plus que quelques mots à ajouter sur l'ensemble des deux installations.

Pour des raisons déjà dites, on a cherché des conditions de très grande sécurité. C'est ainsi que les dynamos qui ont été choisies pour pouvoir absorber 20 chevaux (extraction) ou 10 chevaux (épuisement) arriveraient facilement, j'entends sans exagération et sans danger, à absorber un tiers en plus. Cette proportion qui pourrait légitimement paraître excessive, s'il s'agissait d'une installation normale, ne nous a pas semblé exagérée, étant données les conditions dans lesquelles je vous ai dit que l'on se trouverait placé.

La ligne — en câbles nus posés sur isolateurs en porcelaine — a été calculée très largement : il n'y doit passer guère plus d'un ampère par millimètre carré. On aura donc certainement un rendement très supérieur aux 50 p. °/₀ que nous avons admis *à priori* et cela permettra de faire travailler les machines encore un peu plus loin de leur limite.

Les génératrices et les réceptrices sont exactement semblables. Il en résulte évidemment un surcroît de dépense, mais nous y trouvons par ailleurs ce très grand avantage que, ayant envoyé trois machines de chaque type, nous aurons une rechange pouvant servir à volonté à l'une ou l'autre extrémité de chaque ligne.

Si l'on veut considérer le coût total des appareils d'une part, d'autre part l'économie que j'ai dit résulter de leur emploi, j'estime que la diminution de dépense qui aurait pu provenir d'une autre manière d'agir n'est pas à mettre en balance avec le surcroît de sécurité obtenu.

Il n'y aura au début, sur chacune des deux lignes de l'extraction et de l'épuisement qu'une seule génératrice et une seule réceptrice pouvant donner au moins 10 chevaux sur le treuil et 5 sur la pompe. Il y a lieu de prévoir, d'espérer même, que les besoins de l'exploitation arriveront assez vite à demander davantage et nous avons cherché une garantie dans ce sens en recourant au procédé indiqué par M. Fontaine.

Le treuil et la pompe ont été construits de façon à présenter une résistance suffisante pour pouvoir donner un travail deux fois plus grand que celui qu'on leur demandera pendant la première période des travaux. Quand le moment sera venu de doubler leur puissance, on doublera au départ le nombre des génératrices (et naturellement aussi le nombre des turbines) et on mettra à l'arrivée 2 réceptrices sur le treuil et 2

sur la pompe, qui ont été disposés de façon à les recevoir.

Dans chaque service, les génératrices d'une part, les réceptrices d'autre part, seront couplées en tension. La force électro-motrice sur chaque ligne sera doublée (elle passera de 350 à 700 volts et restera, par conséquent, dans des limites absolument acceptables), mais l'intensité restera constante et il n'y aura rien à changer aux conducteurs.

Le treuil montera alors, toujours à la même vitesse, une charge double, et la pompe pourra ou monter la même quantité d'eau à une hauteur double, en conservant sa vitesse, ou donner deux fois plus d'eau, à la même hauteur, avec une vitesse double. Elle est construite, en effet, de telle façon qu'il suffit du déplacement d'un pignon pour lui permettre de marcher à deux vitesses, dont l'une soit double de l'autre.

Il sera, en somme, possible de réaliser cette augmentation de puissance du puits, sans avoir à remplacer les appareils en service d'une part, d'autre part sans avoir été dans la nécessité de consentir, au début d'une exploitation pour les appareils producteurs de force motrice, un supplément de dépense en vue d'assurer l'avenir pour une époque indéterminée.

A ce point de vue encore, les transmissions électriques présentent une souplesse que cet exemple me paraît bien mettre en évidence.

Dans le pays où tout ce matériel doit être mis en service, les orages, pendant une partie de l'année, sont fréquents et d'une très grande violence : les lignes ont en conséquence été munies de parafoudres. J'estime que ces parafoudres doivent avoir surtout pour but de prévenir un accident possible quand on sera pris au dépourvu par un orage éclatant brusquement et je crois que, quand l'orage sera franchement déclaré, il

sera plus prudent de mettre les lignes à la terre et les machines hors circuit. Les appareils ont été disposés de telle sorte que cette manœuvre soit facile.

J'ai cherché, Messieurs, en vous indiquant comment a été conçue une installation déterminée et pourquoi elle l'a été d'une façon et non d'une autre, à mettre en lumière les principaux avantages que je crois résulter de l'emploi des transmissions électriques. Je vous ai montré un exemple et tiens à déclarer bien haut que ce n'est qu'un exemple et je n'ai nullement prétendu donner un modèle : j'espère quelque jour, en fournissant sur cette installation des détails plus complets, pouvoir dire que sa mise en service régulier n'a pas trahi la confiance que nous avons eue dans ce mode de transmission de force. *(Applaudissements.)*

M. Gautier, secrétaire, donne communication de la note suivante qui a été rédigée par M. Darphin, ingénieur des mines d'Anzin, et qui est relative à l'application de l'électricité au transport de la force.

Parmi les applications que l'on peut faire de l'électricité dans nos mines, il en est une très intéressante : nous voulons parler du transport de la force.

Jusqu'à ce jour, sauf les quelques cas cités par M. Chansselle, la vapeur et l'air comprimé ont été les seuls intermédiaires employés.

La vapeur a le grand inconvénient d'apporter beaucoup d'humidité dans l'air déjà humide de la mine, et son emploi se trouve limité aux cas où l'on peut facilement se servir de la condensation (pour les pompes souterraines, par exemple).

L'air comprimé répond beaucoup mieux aux besoins du mineur ; il rend de très réels services, puisque après avoir produit le travail qu'on lui demande, il sert encore à l'aérage ; c'est pourquoi ses applications se sont telle-

ment multipliées. Dans certains cas cependant, il nécessite des installations trop dispendieuses pour le but que l'on veut atteindre.

C'est ce qui avait lieu dans le cas particulier dont nous allons parler :

A l'une des fosses de la Compagnie des mines d'Anzin, il restait à exploiter une certaine quantité de charbon situé en contre-bas de l'étage inférieur (200.000 tonnes environ). Pour certaines raisons particulières qu'il serait trop long d'énumérer, on était obligé d'exploiter *en vallée*. Nous n'avions que trois moyens à notre disposition : l'air comprimé, les chevaux ou l'électricité.

La fosse ne possédant pas de compresseur, l'installation de l'air comprimé entraînait à des frais hors de proportion avec les ressources du gisement ; de plus, les treuils devaient être souvent déplacés ; les changements successifs de la colonne de tuyaux eussent été difficiles et l'entretien coûteux.

L'exploitation par chevaux ne nous satisfaisait pas non plus, la pente était trop forte et il n'eût pas été possible d'exploiter d'une façon complète.

C'est par l'emploi de treuils électriques que nous obtenions le mode d'exploitation le plus simple et le plus économique. La production d'étincelles n'était pas un danger pour nous, la fosse n'étant pas grisouteuse (on y travaille à feu nu).

Les données du problème étaient les suivantes : **Données du problème.**

1° Prendre la force disponible sur la machine motrice du ventilateur Ser installé au jour, pour actionner la dynamo génératrice (cette machine ne donnant pas pour le ventilateur tout le travail qu'elle est capable de développer) ;

2° Transmettre l'électricité produite à deux récep-

trices, au moyen de câbles parfaitement isolés. Chaque réceptrice devant actionner un treuil ;

3° Distance maxima de la génératrice à une réceptrice : 1.500 mètres ;

4° Poids utile à remonter : 240 kilog. (La berline contient, en réalité, 480 kilog. de charbon, mais la moitié de la charge et le poids mort sont équilibrés par un contre-poids) ;

5° Inclinaison de la vallée : 30°. Longueur, 100 mètres ;

6° Vitesse par seconde : 1 mètre.

Dans ces conditions, le travail à développer était de :

$$1^{m} \times (\underbrace{240}_{\text{Poids utile}} + \underbrace{100}_{\text{Poids de la corde}}) \text{ Sin. } 30^{\circ} = 120^{kgm} = 1^{ch},6$$

Nous ne donnerons pas le détail des calculs très simples, d'ailleurs ; nous dirons seulement que pour économiser sur le prix des conducteurs et pour obtenir un bon rendement, nous avons été amenés à choisir une force électro-motrice élevée et une faible intensité.

La génératrice donne 15 ampères sur 330 volts (elle tourne à 1.350 tours).

Les conducteurs sont composés de 7 fils de cuivre offrant une section totale de 12 millimètres carrés. L'isolement est formé par 2 couches de caoutchouc, un ruban caoutchouté, une enveloppe de toile isolante recouverte d'un enduit spécial. — Ce câble coûte 1f,65 le mètre.

La perte dans la ligne est de 30 volts seulement.

Les réceptrices marchent donc sur 300 volts à 7a,5.

Description du treuil.

Le but que nous nous proposions était d'avoir non pas une machine exigeant un mécanicien ou un électricien pour la conduire, mais un mécanisme très simple pouvant être manœuvré par le premier gamin venu.

Le treuil est aussi simple que possible. Il ne comporte qu'une poulie à gorge et deux engrenages retardateurs.

Le fond de la gorge de la poulie est garni d'un revêtement en chanvre pour éviter le glissement de la corde.

La dynamo réceptrice porte sur son axe une vis sans fin qui actionne une roue hélicoïdale. Sur l'arbre de cette roue est un petit pignon qui donne le mouvement à un engrenage calé sur l'arbre de la poulie. Un frein à segments de friction en bois complète l'appareil. Le tout est porté sur un châssis rectangulaire en bois, analogue aux châssis de treuils automoteurs. La dynamo est rendue solidaire des autres organes au moyen de trois supports en fer boulonnés sur le châssis.

Changement de marche.

La manœuvre d'un treuil quelconque comporte nécessairement un changement de marche.

Jusqu'à présent, il n'y avait que 2 moyens pour arriver à ce résultat.

1° Solution mécanique : le moteur électrique tourne toujours dans le même sens et le changement de marche se fait mécaniquement. Cette solution est peu élégante et nécessite des mécanismes encombrants ;

2° Solution électrique : Le moteur électrique est muni de 4 balais (1) dont 2 sont amenés successive-

---

(1) L'obligation d'avoir 4 balais provient de deux causes :

a. — Causes électriques. Les pôles de l'induit d'une dynamo à courant continu se trouvent aux génératrices en contact avec les balais. Leur direction générale devrait donc être perpendiculaire à celle du champ créé par les inducteurs. Mais l'induit de la dynamo étant une masse de fer enveloppée par des fils constitue, elle aussi, un système magnétique émettant des lignes de force et ayant, par suite, un champ propre, aussi le champ résultant se trouve, en réalité, être la résultante de ces 2 champs, et dirigé obliquement par rapport à chacun d'eux.

ment en contact avec le collecteur. La manœuvre de ces 4 balais nécessite des leviers délicats ; en outre, pour éviter les étincelles et aussi ne pas avoir un changement brusque dans la marche, il faut avoir soin d'intercaler successivement des résistances dans le circuit avant le changement de balais. Cette manœuvre ne peut être faite que par un homme très soigneux, un électricien qui aura ses deux bras occupés d'abord par le rhéostat de mise en arrêt, puis par la manœuvre des balais et enfin par le rhéostat de mise en marche. De plus, les balais ainsi manœuvrés doivent être souvent replacés et réglés ; le collecteur s'use rapidement.

Or, nous avons dit que nous voulions avoir un appareil qui puisse être manœuvré par un gamin. Les deux solutions précédentes ne convenant pas, nous avons prié la Compagnie continentale Edison, qui a fait le montage, d'étudier un système de changement de marche particulier, un appareil spécial intercalé dans le circuit et complètement indépendant de la réceptrice.

Cet appareil, très ingénieux, mérite une description détaillée.

Il consiste essentiellement en un curseur ou levier de manœuvre pouvant décrire une demi-circonférence autour d'un axe horizontal. Les deux extrémités de cet axe sont mises en communication d'une part avec les 2 balais de la réceptrice, d'autre part avec une série de touches correspondant à des résistances variables et graduées.

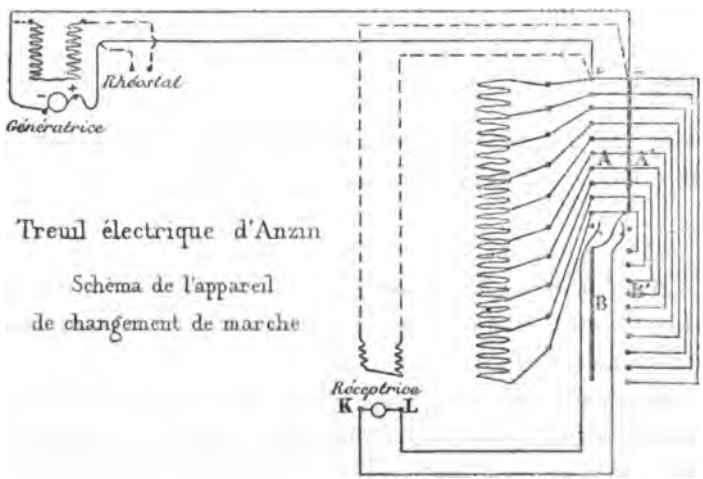
La ligne polaire résultante est donc en pratique, dans le cas d'une dynamo marchant en moteur en retard par rapport au sens du mouvement, sur la ligne polaire des inducteurs. (Dans le cas d'une génératrice, il serait en avance.)

b. — Causes mécaniques. Les balais doivent être inclinés suivant le sens de rotation pour ne pas rebrousser les fils, les abîmer et avoir des étincelles.

1° Lorsque le curseur est au milieu (position verticale), il se trouve sur 2 touches de repos qui sont complètement isolées ; on est au point d'arrêt ;

2° Lorsqu'on fait avancer le levier de manœuvre dans le sens AA′, on met le courant sur la réceptrice d'abord avec une grande résistance en circuit, résistance qui diminue jusqu'à devenir nulle à mesure que le levier avance vers la limite de la course (qui correspond à la position horizontale) et pendant tout ce temps le balai K de la réceptrice se trouve relié au pôle négatif, tandis que le balai L est relié au pôle positif ;

3° Lorsqu'on ramène le levier de manœuvre dans la direction BB′, on commence par introduire des résistances dans le circuit jusqu'au point d'arrêt, puis on remet en marche, mais en sens inverse, car le point d'arrêt étant dépassé, à mesure qu'on retire les résistances, le balai K de la réceptrice se trouve être relié au pôle négatif et le balai L au pôle positif.



La réceptrice est toujours excitée, ses inducteurs étant connectés sur la ligne principale et avant l'appareil de changement de marche. Le sens du courant

dans le circuit inducteur de la réceptrice est toujours le même, par suite la polarité des électro-aimants ne change pas.

En résumé, la manœuvre de cet appareil est très simple ; elle consiste à faire mouvoir à droite ou à gauche un petit levier ; le gamin qui en est chargé prend forcément, et sans s'en rendre compte, toutes les précautions voulues pour le changement de marche, aussi bien au point de vue mécanique qu'au point de vue électrique.

Emploi de balais en charbon pour la réceptrice.

Notons, en terminant, un autre cas original de l'appareil. La réceptrice a un décalage très faible des balais (c'est un fait résultant de sa construction) ; cette circonstance a permis de mettre les balais à un calage fixe pour n'importe quel sens de rotation sans avoir de trop fortes étincelles. Ces étincelles disparaissent même complètement, par suite de l'emploi de balais en charbon, serrés par l'entremise de ressorts et placés normalement à la circonférence du collecteur. C'est la première fois que le charbon est employé en France dans ces conditions.

M. le Président. — La parole est maintenant à M. Vialla, directeur des mines de Lalle.

M. Vialla. — Messieurs, je vous demande la permission de vous lire la note suivante, sur l'allumage des mines au moyen de l'électricité.

Le tirage des coups de mine, au moyen de l'électricité, a été, pour la première fois, appliqué à la mine de Lalle, en 1863, lorsqu'il s'est agi d'approfondir l'un des puits d'extraction. Depuis cette époque, ce mode de tirage a toujours continué à être employé dans tous les fonçages qu'a fait effectuer cette houillère. On se

servait à cet effet de simples piles au bichromate de potasse et d'une forte bobine Ruhmkorff ; on y a substitué, plus tard, la machine Bornhardt.

C'est ainsi qu'on a foncé à ce jour environ 450 mètres de puits, sans avoir eu le moindre accident, dû aux explosions des coups de mine. Ce mode de tirage apportait en effet une très grande sécurité pour l'ouvrier qui était chargé de l'allumage.

A part le danger auquel un coup raté pouvait l'exposer, lorsqu'il redescendait dans le puits, même après un temps assez long, ne pouvait-on pas toujours craindre qu'après avoir allumé la mèche il ne puisse, pour une cause ou pour une autre, être enlevé assez rapidement pour être complètement à l'abri de l'explosion. Avec l'électricité, cette cause d'accident disparaissait entièrement.

Maintenant, lorsque survint, en 1883, l'accident de grisou qui fit 9 victimes et qui fut dû à l'imprudence d'un ouvrier, qui, dans un chantier en traçage, alluma la mèche de son coup de mine avec une allumette, contrairement au Règlement, nous jugeâmes à propos d'étendre le tirage au moyen de l'électricité, et de l'appliquer à tous les travaux en traçage, soit au charbon, soit au stérile et à toutes les galeries à travers-bancs.

Le bon marché des petites machines statiques d'Abegg et de ses amorces nous permettait de multiplier ainsi, sans trop de frais, ce mode de tirage.

Chaque chantier a sa petite machine, placée en lieu sûr, dans un endroit parfaitement aéré, à une certaine distance du front de taille, et un simple fil de fer peut la relier à la mèche.

Les principaux avantages que présente ce mode de tirage sont les suivants :

1° Eviter le danger de revenir sur un coup raté,

même après un temps plus ou moins long : on a malheureusement à déplorer bon nombre d'accidents dus à cette cause ;

2° Supprimer surtout l'emploi de la mèche ordinaire, qui peut très bien, croyons-nous, dans un chantier grisouteux, être la cause d'une explosion.

Ainsi, il est très probable que le tirage à l'électricité aurait évité l'accident qu'on a eu en 1883. L'ouvrier, n'ayant pas eu à allumer son coup de mine avec un corps en ignition, ne se serait pas servi d'une allumette, et l'explosion ne se serait probablement pas produite.

Aussi, n'a-t-on eu jusqu'ici qu'à se féliciter de l'emploi de ce mode de tirage.

Avec les amorces Abegg, le surcroît de dépenses qu'il occasionne n'est pas très élevé.

Ces amorces coûtent chacune.	0f,120
Un mètre de mèche ordinaire coûte	0,040
Soit en plus	0,080
Si l'on ajoute pour l'entretien des machines et leur amortissement.	0,020
on a pour le surplus de la dépense, par coup de mine	0,100

Cette dépense nous paraît être largement compensée par la plus grande sécurité obtenue.

M. Castel. — Je demande à M. Vialla la permission de faire une petite rectification à ce qu'il vient de dire : les mines de Lalle n'ont pas été les premières à faire le tirage à l'électricité, car un des puits de la mine du Lac, près de Privas, en 1851, a été foncé au moyen de l'électricité, et, du reste, absolument pour les raisons que M. Vialla vient d'indiquer pour éviter les accidents, et, en effet, il n'y en a pas eu un seul. Le procédé

employé a été décrit dans un rapport que j'ai publié aux *Annales des Mines*, en 1852.

M. Libert, ingénieur au Corps des mines de Belgique, donne communication des études officielles faites en Belgique, des applications de l'électricité aux travaux miniers.

L'électricité est susceptible de recevoir dans les travaux de l'exploitation des mines un grand nombre d'applications parmi lesquelles il faut notamment signaler : la mise à feu des explosifs, l'éclairage, le transport de l'énergie pour activer des moteurs d'épuisement, d'aérage, d'extraction, de transport et d'autres destinés au havage des couches et à la perforation des roches. Mais dans ces multiples usages, le courant électrique peut présenter des dangers sérieux, surtout dans les mines grisouteuses. L'étincelle électrique peut jaillir dans des conditions en apparence les plus inoffensives, car si certains appareils employés ne donnent lieu en fonctionnement normal à aucune étincelle, la rupture du circuit donne toujours naissance à un autre courant de tension plus ou moins élevé capable de produire une étincelle plus ou moins dangereuse. Quel est le danger réel de l'étincelle électrique produite au sein d'un mélange grisouteux ? Les conditions d'inflammation d'un semblable mélange dépendent notamment de sa composition, de la forme et des dimensions des électrodes entre lesquelles jaillit l'étincelle, de la quantité de chaleur dégagée par le passage du courant, fonction de sa force électromotrice, de son intensité, de sa durée, etc. Les documents font absolument défaut sur ce sujet si important ; on ne trouve dans aucune publication scientifique des renseignements précis sur ce

point. Dans l'incertitude sur le danger réel, on doit considérer comme dangereuse *toute* étincelle prenant naissance dans n'importe quelle circonstance. Par le fait, tous les moteurs électriques sont interdits par le règlement général de police des mines belges, qui fait défense d'introduire dans les travaux des mines grisouteuses tout objet propre à procurer du feu. D'un autre côté, le même règlement ne permet pas de se servir pour l'éclairage souterrain d'autres lampes que celles alimentées par l'huile végétale.

L'emploi de l'électricité a seulement été prévu pour le tirage des mines ; le règlement en fait même une obligation pour le tir multiple dans les mines grisouteuses de la deuxième et de la troisième catégories et cela dans le but d'obtenir la simultanéité des déflagrations. Le règlement ne s'est pas préoccupé des conditions que devaient remplir les appareils employés à cette fin pour en assurer l'innocuité dans les milieux grisouteux. Les progrès récents, accomplis dans les autres applications de l'électricité depuis dix ans, ne pouvaient laisser indifférente l'administration chargée de veiller à tout ce qui concerne la sécurité des exploitations minières. Il lui appartenait de faire étudier les applications possibles du courant électrique dans ces dernières, de déterminer les conditions auxquelles devaient satisfaire les appareils à employer. Il n'est pas question d'entraver par une réglementation prématurée les tentatives sérieuses que nos exploitants pourraient entreprendre, mais ce qu'il faut, c'est un code d'instruction basé sur nos connaissances actuelles, et susceptible d'être modifié à mesure des progrès qui ne tarderont pas à être réalisés dans cette nouvelle branche des applications déjà si nombreuses de l'électricité. Il faut en outre faire connaître aux électriciens les *desiderata* auxquels doivent satisfaire les installations

électro-minières qu'ils effectuent. C'est ainsi les pousser dans la voie de nouvelles découvertes.

Sur l'initiative de M. Arnould, directeur général des mines, le gouvernement belge a, par un arrêté ministériel du 11 septembre 1888, nommé une Commission chargée d'entreprendre les études dont il s'agit. Cette Commission est composée de 4 fonctionnaires du Corps des mines, parmi lesquels nous avons l'honneur de compter.

Après de nombreuses recherches effectuées dans le but de connaître le danger réel de l'étincelle électrique et des filaments incandescents dans les milieux grisouteux, nous n'avons rien trouvé de suffisant en ce qui touche ces questions importantes dans aucune publication.

Nous avons fait un projet d'études à entreprendre dans ce but, basées sur les conditions pratiques des mines ; nous avons remis ce travail à M. le Directeur général des mines et nous sommes persuadés que le Gouvernement nous fournira sous peu les moyens de mener à bonne fin cette étude importante à double titre : au point de vue scientifique et technique.

Nous avons ensuite entrepris l'étude du tirage électrique des mines, en admettant comme dangereuse toute étincelle, et nous avons déterminé les conditions exigées pour obtenir la sécurité en partant de cette hypothèse que nos études ultérieures modifieront peut-être. Je vous le ferai connaître dans quelques instants. (Voir l'annexe page 1381.)

La Commission n'a pas eu le temps d'étudier à fond les autres applications de l'électricité aux travaux miniers. Elle a en outre décidé d'attendre la réunion du présent Congrès, comptant bien y recueillir des renseignements intéressants sur les applications réalisées en France et à l'étranger. L'occasion était exceptionnelle ;

la question était à l'ordre du jour et il lui était même donné une place importante ; d'autre part, l'Exposition devait permettre une étude facile des progrès réalisés. Eclairés par vos lumières, par la discussion que les questions dont il s'agit soulèveront parmi les membres de cette Assemblée, nous comptons continuer résolument nos travaux et contribuer dans la mesure de nos moyens à renseigner les exploitants sur les avantages au point de vue de la sécurité et même de l'économie à résulter des applications de l'électricité aux travaux des mines.

M. Mallard. — Je veux simplement dire un mot pour me joindre à M. Libert et aux autres ingénieurs qui ont protesté contre l'emploi dans les mines de courants électriques à forte tension ; je crois que c'est extrêmement dangereux, parce qu'il peut y avoir des étincelles à tous les points du conducteur. Je veux dire aussi un mot sur la lampe et le mode d'éclairage électrique que M. Chalon a indiqué dans son exposé fort intéressant. Tout le monde est absolument disposé à employer l'éclairage électrique ; il n'a qu'un défaut, c'est de ne pas exister jusqu'à présent. On a bien donné des lampes fixes et en effet elles peuvent être employées avec grand avantage dans les cas où l'éclairage fixe peut l'être lui-même ; quant aux lampes mobiles, qui doivent être nécessairement mobiles, pour être portées au chantier, je ne connais pas encore de solution pratique proposée par les électriciens. Je crois qu'ils rendront de grands services aux mineurs s'ils peuvent résoudre cette question, mais elle n'est pas résolue.

M. Masson. — M. Mallard demande s'il y a des lampes électriques portatives ; en Angleterre, il y en a 500 en service journalier. Ce sont des lampes Swan à accumulateurs. Elles sont aussi légères que possible.

Je ne crois pas, du reste, que la lampe doive être absolument légère ; celles qui doivent être légères sont celles que les traîneurs emploient, et s'ils emploient des lampes trop lourdes, ils peuvent en changer dans le cours de la journée. Quant à la solidité, la lampe est plus solide que la lampe ordinaire, car le verre qui abrite la lumière électrique a la même épaisseur que le verre de lampe ordinaire et il est de moindres dimensions. Cette lampe est absolument de sûreté ; qu'on fasse toutes les expériences que M. Fumat demande et qu'on y soumette la lampe électrique ; comme elle est absolument enfermée, elle est de sûreré ; tandis que n'importe quelle lampe, séparée de l'atmosphère par une toile quelconque, présentera toujours certains dangers. Le seul danger, qui pourrait se produire, serait en cas de rupture, mais le filament de la lampe sera brisé par le choc que la lampe aura subi.

Cette lampe électrique se trouve dans une petite ampoule,grosse comme une fève,fragile et pouvant se rompre par le choc ; il y a au-dessus un gros verre épais comme ceux qui entourent la lampe de mineur ordinaire. Il n'y a qu'à faire l'expérience. Le prix coûtant de ces lampes est encore assez élevé : 25 francs pièce ; si cette lampe dure deux ans, cela fera 12 fr. 50 par an, 5 centimes par jour ; ce n'est pas grand'chose, tandis que la lampe de mineur coûte 10 centimes. Encore un mot : quant au transport de force, il est certain qu'on ne doit pas employer l'électricité dans les mines grisouteuses ; il faut de plus, si on emploie l'électricité comme transport de force dans les mines, avoir des moteurs qui ne donnent pas d'étincelles au balai. Il y a des moteurs à l'Exposition qui fonctionnent sans donner d'étincelles. On peut en outre enfermer la machine dans une caisse hermétiquement fermée ne laissant pas passer d'air et de grisou non plus.

M. Chalon. — Je désirerais que l'impression finale du Congrès ne fût pas celle que vient de nous donner M. Mallard; les lampes portatives de mine existent depuis longtemps et l'année dernière j'ai relevé qu'il y avait en Angleterre 700 lampes Schanschieff en fonction et 2.500 lampes Swan. L'industrie des lampes portatives électriques s'est singulièrement développée depuis quelque temps; au lieu de 2 ou 3 modèles que citait en 1886 la Commission anglaise du grisou, il y en a aujourd'hui 15 ou 20.

Quant à la question des étincelles, je me rapproche de l'avis de M. Masson; il est dans le vrai, on peut empêcher les étincelles de mettre le feu au grisou. En somme, voilà une question neuve, étudions-la; cherchons à écarter les difficultés que présente encore l'emploi de l'électricité, particulièrement dans les mines grisouteuses, et à profiter le mieux possible des nombreux avantages qu'il présente.

M. Roberti. — Je n'ai qu'un mot à dire sur une lampe dont il est question dans les procès-verbaux de la Société des ingénieurs du nord de l'Angleterre : c'est la lampe Hurquard.

Cette lampe présente certains avantages : d'après le constructeur, elle est relativement légère; elle pèse 2 kilog. seulement; le prix n'est pas très élevé : une guinée, 26 fr. 35. Le gros globe de verre, qui entoure la petite lumière, présente cette particularité qu'il est en verre incassable; il renferme un ressort, qui, dès qu'un objet frappe sur le globe, fait briser la petite lentille; il n'y a pas moyen que le gaz agisse sur le charbon. On n'a jamais pu mettre le feu au mélange dans les expériences qui ont été faites.

M. Chalon. — Il y a encore une autre lampe, la lampe

Coad, qui a les mêmes avantages. La question est à l'étude, la solution est proche.

M. Le Châtelier. — Après les observations de M. Mallard, auxquelles je n'ai rien à ajouter, je ne voudrais dire qu'un seul mot. M. Chalon et M. Roberti nous ont parlé de différentes lampes électriques ; je ne nie pas qu'il y ait, dans les laboratoires, de semblables lampes de mine. En existe-t-il dans les mines, je n'en connais pas. C'est là toute la question (1). Prenons d'abord la lampe Schanschieff ; elle revient, comme dépense, à 2 fr. 50 par jour pour une seule lampe.

M. Chalon. — Pas du tout.

M. Le Châtelier. — J'ai personnellement expérimenté cette lampe avec M. Mallard. Le représentant à Paris de l'inventeur accuse une dépense journalière de 3 francs ; je crois que le double serait plus près de la vérité, mais peu importe. La lampe signalée par M. Roberti est certainement très jolie, bien construite et légère ; elle est censée marcher 12 heures, mais ses constructeurs n'ont jamais pu, devant M. Mallard et moi, la faire brûler plus de deux heures. Après son départ nous avons recommencé ces essais à diverses reprises sans jamais pouvoir dépasser deux heures trois

---

(1) M. Chalon a cité, au cours de cette discussion, une mine anglaise Risca Colliery, où 500 lampes électriques seraient en service continu. Depuis la fin du Congrès, M. Foster, inspecteur des Mines du gouvernement anglais, qui assistait à la discussion, m'a fait savoir que ces lampes étaient aujourd'hui abandonnées. Il me transmettait une lettre d'un de ces collègues, dont voici les propres termes. « J'ai le regret de vous dire qu'il n'y a plus « aujourd'hui de lampe électrique employée dans aucune des « mines de mon district. On a trouvé quelques défauts à celles « qui furent employées sur une large échelle à Risca Colliery et « à National Colliery. L'acide exerçait une action qui était une « source de difficultés et de dépenses. »

quarts. Des seules lampes fonctionnant bien jusqu'ici, et qui ont été expérimentées par la Commission anglaise, celle de Swan pesaient 4 kilog., alors que la lampe du mineur pèse 1 kilog. et quelque chose. Cette lampe valait 100 francs. Ce sont des conditions de prix et de poids inadmissibles dans les mines. Je suis convaincu, néanmoins, que l'on arrivera à faire mieux. M. Masson a protesté contre le danger reproché aux dynamos de donner des étincelles. Je ne nie pas qu'une dynamo, même en bon état et fonctionnant normalement, puisse marcher sans donner d'étincelles aux balais ; mais bien des circonstances accidentelles pourront provoquer ces étincelles. Un court circuit le fera infailliblement.

Ce danger d'étincelles existe dans tous les appareils électriques et est d'autant plus à craindre, naturellement, que la tension est plus forte. Ainsi, les coups de poing Scola et Ducretet sont plus dangereux que les anciens coups de poing Breguet, par cela seul qu'ils sont plus efficaces. Leur étincelle de rupture, qui est enfermée, il est vrai, peut atteindre 8 millimètres ; entre les câbles conducteurs on pourrait sans doute avoir des étincelles de 2 à 3 millimètres. En résumé, on peut prévoir un grand nombre de circonstances dans lesquelles un appareil électrique quelconque donnera des étincelles. Il faut donc, pour diminuer ce danger, employer l'électricité à faible tension et se servir exclusivement, pour le tirage des mines, des amorces à fil.

M. Masson. — Dans toutes les mines où l'on permet de tirer avec la poudre ou la dynamite, on peut employer l'électricité, qui présente beaucoup moins de danger que l'explosion de ces deux substances.

Quant aux étincelles, je ne sais pas vraiment sur quoi vous vous fondez pour dire que les étincelles à haute tension présentent tant de danger.

Avec de faibles tensions, il faudra plus d'intensité de courant et vous pourrez avoir tout aussi bien des étincelles. Il n'y a pas de différence, selon moi, à cet égard entre les hautes et les faibles tensions.

M. Le Châtelier. — Avec le courant à faible tension on n'a pas d'étincelles.

M. Masson. — Je crois qu'on pourrait parfaitement en avoir.

M. le Président. — La question me semble maintenant épuisée et je vous propose de clore le débat. (*Approbation.*)

Je déclare, en même temps, la session du Congrès close en ce qui concerne l'art des mines, sauf pour les diverses questions qui seront discutées dans la séance spéciale de demain.

La séance est levée à cinq heures moins un quart.

ANNEXE

A LA COMMUNICATION DE M. LIBERT

I

Précautions à observer pour le tirage des mines par l'électricité.

SECTION I

PRESCRIPTIONS APPLICABLES A TOUTES LES MINES

Chapitre I. — Sources d'électricité.

Article premier. — La manœuvre et la garde de tous les appareils producteurs de courant seront exclusivement confiés à la personne responsable du minage.

Art. 2. — Quel que soit l'appareil employé, les conducteurs extérieurs de courant ne pourront y être

attachés qu'au moment de la mise à feu par la personne désignée à l'article 1er, et devront être détachés aussitôt la déflagration des mines effectuée.

Art. 3. — Les bornes d'attache des conducteurs seront aussi éloignées que possible l'une de l'autre, de manière à éviter un court circuit accidentel ou une décharge spontanée.

Art. 4. — Quel que soit l'appareil employé, les fils conduisant le courant aux bornes seront parfaitement isolés et garantis des dénudations accidentelles.

Art. 5. — Un commutateur-interrupteur automatique sera disposé de manière à maintenir normalement ouvert le circuit des appareils à action continue, tels que les piles voltaïques et les exploseurs rotatifs, soit magnéto, soit dynamo-électriques, soit électro-statiques.

Art. 6. — Dans tous les appareils mécaniques, la disposition de l'organe moteur sera telle que son mouvement ne puisse se produire accidentellement.

Chapitre II. — Conducteurs et attaches.

Art. 7. — Les conducteurs principaux seront électriquement isolés entre eux et par rapport au milieu extérieur. Leur isolement sera proportionné à la force électro-motrice maxima de l'appareil producteur de courant.

Art. 8. — L'emploi de la terre, comme conducteur de retour, est interdit.

Art. 9. — Les conducteurs principaux seront revêtus d'une enveloppe résistante, les abritant des dénudations accidentelles. Ils auront, en outre, assez de mobilité et de souplesse pour fléchir sans se rompre sous l'action d'une charge acccidentelle. A cette fin, ils ne pourront être tendus entre leurs points d'appui, ni fixés, mais simplement posés sur ces derniers.

Art. 10. — Les conducteurs auxiliaires seront isolés.

Art. 11. — L'emploi des fils d'amorce nus ou faiblement isolés est interdit.

Art. 12. — Les attaches, des divers conducteurs, entre eux présenteront un contact métallique parfait, et tel que le déplacement relatif des brins raccordés ne puisse se produire.

Art. 13. — Les extrémités des conducteurs doubles à réunir seront dénudés sur au moins trois centimètres de longueur, et en tout cas en retrait l'une sur l'autre, pour éviter tout contact entre les fils d'aller et de retour du courant.

Art. 14. — Toute ligature sera, en outre, entourée d'un isolant suffisant pour éviter des contacts accidentels.

Chapitre III. — Amorces.

Art. 15. — Les amorces destinées à l'allumage des poudres lentes seront confectionnées à l'aide d'une poudre d'une résistance au choc absolue.

Celles entrant dans la composition des capsules ou détonateurs pour l'allumage des explosifs brisants seront confectionnés à l'aide d'une poudre d'une résistance au choc au moins égale à celle du détonateur employé.

Art. 16. — Les poudres fusantes et les matériaux aisément combustibles ne peuvent entrer dans leur fabrication.

Art. 17. — Dans le tir multiple, les amorces à fil seront exclusivement groupées en dérivation.

SECTION II

DISPOSITIONS SPÉCIALES AUX MINES A GRISOU

Chapitre I. — Sources d'électricité.

Art. 18. — On évitera de placer les batteries voltaïques au toit des galeries.

Art. 19. — Les connexions des éléments des batteries seront complètement isolées de l'atmosphère ambiante.

Art. 20. — Tout interrupteur de courant intercalé sur le circuit des mines ou sur un circuit intérieur de l'appareil producteur de courant sera muni d'un isolateur d'étincelles soumis à de fréquents examens.

Art. 21. — Les fils des bobines quelconques seront parfaitement isolés et disposés de manière à éviter la production d'étincelles intérieures. Ces bobines seront, en outre, revêtues d'une enveloppe isolante, destinée à empêcher des dérivations accidentelles.

Art. 22. — Les bobines de transformation seront enfermées dans une boîte hermétiquement close, formant enveloppe protectrice contre toute atteinte extérieure.

Art. 23. — Tout condensateur sera noyé dans un diélectrique solide.

Art. 24. — Des dispositifs efficaces seront pris pour rendre inoffensives les étincelles des balais des machines dynamos.

Art. 25. — Aucun appareil électro-statique ne pourra être employé sans autorisation spéciale.

Chapitre II. — Conducteurs et attaches.

Art. 26. — Il est interdit de poser les conducteurs principaux au toit des galeries ; ils devront, autant que possible, être placés à mi-hauteur de ces dernières.

Art. 27. — Les conducteurs principaux seront de haut isolement.

Chapitre III. — Amorces.

Art. 28. — Il est interdit de faire sauter des mines sans bourrage.

Art. 29. — La poudre choisie pour la confection des amorces ne dégagera, en déflagrant, que peu ou point de flamme,

Art. 30. — Pour le tir multiple, dans les mines à grisou de la 2e et de la 3e catégorie, l'emploi d'amorces à étincelle disposées en tension est de rigueur.

II

Instructions annexées au projet de prescriptions relatives au tir des mines par l'électricité.

Les précautions à prendre lors du tir électrique des mines sont dictées par trois catégories de dangers, auxquels il est aisé de parer :

1. Les *ratés*. Ils peuvent provenir :

a) De l'insuffisance du courant par dérivation le long de la ligne ;

b) De l'interruption du circuit par suite de solution de continuité aux joints, ou de rupture accidentelle, provoquées par la chute d'une pierre, la déflagration d'une mine voisine, etc. ;

c) De défauts des amorces qui peuvent ne pas s'allumer au passage du courant.

2. Le départ inopiné de la mine, au moment où des ouvriers se trouvent au front d'avancement, par l'envoi fortuit du courant ou la déflagration de l'amorce, qui ne s'est pas allumée au passage du courant, mais dans laquelle le feu a pu dormir un certain temps.

3. L'inflammation du grisou par l'étincelle électrique.

Les deux premières causes de danger peuvent se présenter dans les mines non grisouteuses comme dans les mines grisouteuses. Elles motivent une série de prescriptions applicables à toutes les mines.

Une deuxième série de précautions visant le danger de l'inflammation du grisou par l'étincelle électrique s'imposent dans les mines grisouteuses.

SECTION I

TOUTES LES MINES

Chapitre I. — Sources d'électricité.

Les sources *chimiques* d'électricité sont les piles primaires et les accumulateurs ou batteries secondaires.

Les transformateurs d'électricité employés dans les mines, tels que la bobine de Ruhmkorff, utilisent généralement l'électricité provenant d'une source chimique.

Les sources *mécaniques* sont les appareils *magnéto-électriques* (coup de poing Scola, exploseur rotatif Ducretet, etc.), *dynamo-électriques* (type : appareil rotatif Siemens) et *électro-statiques* (machines de Bornhardt et d'Ebner).

L'article 1 a pour but de fixer nettement les responsabilités.

Art. 2. — Cet article exige que le circuit des mines soit maintenu ouvert pendant tous les intervalles compris entre les départs des mines. Cette précaution a pour effet d'empêcher tout départ intempestif, soit lors de la présence d'ouvriers à proximité des mines, soit même pendant le chargement des fourneaux, soit quand du grisou apparaît ; en un mot, d'éviter toute explosion avant le moment voulu.

Art. 3. — Des ratés pourraient résulter soit d'une perte de courant par court circuit ou dérivation s'établissant entre les conducteurs électriques (la main de l'opérateur peut, par mégarde, réunir les deux bornes), soit d'une décharge disruptive ou étincelle jaillissant entre les extrémités rapprochées des conducteurs extérieurs.

Dans les mines grisouteuses, cette étincelle pourrait encore mettre le feu à du grisou contenu dans l'atmosphère ambiante.

Art. 4. — Cet article s'inspire des mêmes considéra-

tions. Les conducteurs intérieurs du courant sont quelquefois logés sous le support de l'appareil. Mal abrités, ils peuvent être dénudés ou détériorés par le transport ou la manipulation ; des courts circuits ou des dérivations peuvent résulter de l'humidité des galeries

Art. 5. — L'art. 5 poursuit le même but que l'art. 2, sans toutefois faire double emploi avec lui. L'interrupteur en question permet de ne lancer le courant sur la ligne qu'au moment précis du tirage.

Art. 6. — Dans les machines rotatives, actionnées par une manivelle, celle-ci doit être enlevée pendant les intervalles du tir. Dans les appareils du type coup de poing, ou bien actionnés par une crémaillère, une corde, etc., un verrou de sûreté calant la pièce mobile remplit le même office.

Chapitre II. — Conducteurs et attaches.

Les conducteurs *principaux* vont de l'appareil engendrant le courant au voisinage du front de travail ; là, des conducteurs *auxiliaires* s'y rattachent et se relient aux *fils d'amorce* des fourneaux.

Les conducteurs auxiliaires sont souvent en fer ; ils n'ont qu'une faible valeur. Ils se détériorent fréquemment sous leur enveloppe par l'effet de l'explosion ; il est d'absolue nécessité de les remplacer après chaque volée de mines ; même au point de vue de l'économie, le réemploi de ces conducteurs ne se justifierait pas, tellement elle serait minime.

Art. 7. — L'isolement des conducteurs principaux est encore exigé par les dangers résultant des dérivations et des étincelles. Dans les appareils dont les bobines ont de nombreuses spires parcourues par le courant, la force électro-motrice du courant direct passe par un maximum au moment de la rupture, c'est

à ce maximum que l'isolant des fils doit pouvoir résister.

Art. 8. — L'emploi de la terre comme conducteur de retour du courant paraît, à première vue, économique, parce qu'il évite l'achat d'un second conducteur ; il diminue, en outre, la résistance du circuit. Mais il est difficile d'établir un bon contact avec la terre et cette disposition expose, par suite, à de fréquents ratés.

D'un autre côté, les conducteurs doubles à fil d'aller et de retour sous une même enveloppe ne coûtent guère plus que les conducteurs uniques ; l'économie n'est donc pas justifiée.

Art. 9. — L'enveloppe extérieure des conducteurs principaux, qu'il ne faut pas confondre avec leur enveloppe isolante, doit être assez résistante pour supporter, sans se dénuder, l'action d'une pierre tranchante, d'une pièce de métal à vive arrête, et en général toute cause de détérioration. Les fils simplement revêtus de gutta-percha ou de soie doivent être proscrits ; il leur faut conséquemment en plus une enveloppe protectrice.

Les conducteurs principaux qui seraient tendus entre les cadres de soutènement sont exposés à se rompre, soit par un mouvement des boisages à la suite d'une pression du terrain, soit sous le poids d'un bloc de pierre détaché du toit de la galerie. Il importe donc de leur ménager une souplesse et une mobilité suffisantes en les faisant passer librement, soit dans des anneaux, soit sur des roulettes à gorge fixées aux poteaux, et de manière qu'ils puissent aisément s'abaisser jusqu'au sol à la moindre pression. Leur pose au-dessus des chapeaux des cadres équivaudrait à les fixer à demeure, car ils pourraient se trouver serrés sous une pierre.

Art. 10. — Les conducteurs auxiliaires non isolés

exposeraient à des dérivations de l'un à l'autre, soit par leur proximité, soit par le sol humide.

Art. 11. — Les fils d'amorce nus, en contact avec la terre humide du bourrage ou une poudre conductrice, exposeraient à des ratés.

Art. 12. — Cet article a pour but d'assurer la continuité du circuit ; une mauvaise ligature est une source de ratés et même d'étincelles.

Art. 13. — Cet article a pour effet d'éviter la confusion des fils à relier et des dérivations à l'endroit des ligatures.

Art. 14. — Cet article ne demande pas de commentaire.

Chapitre III. — Amorces.

Art. 15 et 16. — Il y a lieu de distinguer les amorces destinées à l'allumage des poudres lentes de celles réservées à l'allumage des poudres brisantes.

Les amorces électriques doivent être considérées au double point de vue de la résistance au choc et de la nature de la poudre, et de leur mode de confection. Dans les mines à grisou, il faut de plus envisager le danger des flammes provenant de l'amorce.

a) *Résistance au choc.* Les chocs résultant du bourrage énergique exigé par le chargement des fourneaux à la poudre noire pourraient déterminer la déflagration de certaines poudres d'amorce trop sensibles. Aussi ne faut-il employer pour la fabrication des amorces destinées à provoquer l'explosion de la poudre noire et des poudres lentes en général, que des poudres d'amorce présentant au choc une résistance absolue.

Quant aux amorces détonantes pour explosifs brisants, le fait même de la sensibilité au choc de leur détonateur dispense d'imposer une condition analogue.

Il suffit que la poudre d'amorce présente au choc une résistance égale à celle du détonateur employé. Il n'y a donc là aucune cause de danger inhérente à l'emploi de l'électricité.

b) *Nature de la poudre d'amorce.* Lorsque des fourneaux sont chargés de poudre noire ou de produits similaires, des explosions tardives et des ratés peuvent provenir de l'emploi, pour la confection des amorces, de poudres fusantes, contenant, par exemple, du salpêtre. L'usage de ces poudres fusantes doit être interdit.

c) Les mêmes dangers peuvent résulter de l'*inflammation tardive*, par des amorces défectueuses, dont le raté serait suivi d'une combustion lente : aussi l'enveloppe de la poudre d'amorce, généralement composée de carton ou de papier, doit-elle être imprégnée d'une substance qui la rende incombustible. Les matières servant à fixer les fils, à retenir la poudre, doivent présenter la même garantie de sécurité.

d) L'inflammabilité du grisou par les amorces sera traitée dans la section II.

Art. 17. — Le groupement en tension des amorces à *fil* destinées au tir multiple exposerait à de fréquents ratés, attendu que les amorces ne peuvent être d'une sensibilité absolument identique. La déflagration d'une mine pourrait rompre le circuit et faire rater d'autres mines. En conséquence, les amorces à fil doivent être groupées en dérivation ou en quantité ; cette disposition assure l'indépendance de chaque mine et diminue les risques des ratés.

SECTION II

MINES GRISOUTEUSES

Outre les précautions énumérées ci-dessus, il faut, en outre, dans les mines grisouteuses, éviter la pro-

duction d'étincelles aux points où peuvent s'accumuler des mélanges explosifs.

L'absence de renseignements précis et d'expériences complètes ne permet pas de déterminer les constantes de l'étincelle, qui serait sans danger dans certains milieux grisouteux. En conséquence, il faut considérer comme dangereuse *toute étincelle prenant naissance dans n'importe quelle circonstance.* C'est de ce point de vue qu'il a été avisé aux moyens de la rendre inoffensive dans les milieux grisouteux.

Chapitre I. — Sources d'électricité.

Art. 18. — Les nombreuses connexions des éléments des batteries voltaïques peuvent laisser à désirer, se déplacer pendant le transport, et des étincelles peuvent jaillir entre des points de ces liaisons faiblement écartés. Il importe donc d'éviter de placer les batteries aux points où se rassemble le grisou, au toit des galeries, où, de plus, elles seraient difficiles à visiter.

La manœuvre des autres appareils exigeant qu'ils se trouvent à portée de l'opérateur, dispense de condition analogue.

Art. 19. — Cet article poursuit le même but que le précédent.

Art. 20. — Il se produit des étincelles de rupture aux interrupteurs de courant. Ceux-ci doivent donc être isolés de l'atmosphère ambiante.

Art. 21. — L'isolement soigné des fils conducteurs constituant l'appareil exploseur s'impose à la fois pour éviter les ratés et les étincelles intérieures. Ces dernières détériorent l'isolant, et, se propageant de proche en proche, peuvent atteindre la périphérie des bobines et l'extérieur.

Art. 22. — La chute d'une pierre, le choc d'un outil, pourrait détériorer l'isolant des bobines des transfor-

mateurs (bobine de Ruhmkorff) parcourues par des courants de haute tension dont les étincelles paraissent particulièrement dangereuses.

Art. 23. — Il ne s'agit pas, dans cet article, du diélectrique qui forme partie constituante du condensateur, mais bien d'une enveloppe protectrice isolante englobant complètement le condensateur.

Art. 24. — Des étincelles jaillissent aux points de contact des balais des machines dynamos avec les collecteurs. On ne peut encore préciser de système d'isolement à préconiser pour ces appareils Les dispositifs proposés jusqu'à présent ne satisfont pas complètement aux exigences de l'article 24.

Art. 25. — Les appareils électro-statiques connus ne peuvent être employés dans les mines à grisou, car on ne peut isoler efficacement les étincelles abondantes et chaudes qu'elles produisent. Il convient que chaque système nouveau soit, avant son adoption, examiné au point de vue de savoir s'il offre les conditions de sécurité voulues.

Chapitre II. — Conducteurs et attaches.

Art. 26. — Le danger de la production d'étincelles aux points où se rassemble le grisou, par rupture accidentelle des conducteurs principaux, proscrit leur pose au toit des galeries. Sur le sol, ils sont exposés à des détériorations et des dérivations par l'humidité.

Art. 27. — Cet article n'exige pas de commentaire.

Chapitre III. — Amorces.

Art. 28 et 29. — Dans les mines grisouteuses, on ne pourrait interdire l'emploi d'amorces donnant une flamme pour faire exploser des fourneaux chargés à la poudre noire, attendu que l'explosif lui-même est en état de dégager une flamme incomparablement plus dangereuse que la petite quantité de poudre servant à

l'amorçage ; mais, dans l'hypothèse de l'emploi d'un explosif, qui, par lui-même, ne pourrait mettre le feu au grisou, le bourrage du fourneau suffirait pour supprimer le danger de la projection d'un jet de flamme provenant de l'amorce électrique du détonateur.

Déflagrant avec ou sans flamme, les explosifs brisants s'accommodent parfaitement bien d'un bon bourrage, ne fut-ce qu'au point de vue de leur effet.

Ecartant même la question du danger provoqué par la flamme de la poudre d'amorce, on a des raisons de préférer, au point de vue de l'efficacité, les amorces donnant le moins de flamme. En effet, par analogie avec les explosifs brisants, il n'est guère douteux que les poudres d'amorce qui satisferont le mieux à cette condition seront les plus vives et partant les plus sûres quant à la suppression des ratés.

Art. 30. — La simultanéité du tir multiple dans les mines à grisou, de la 2e et de la 3e catégorie, exigée par le règlement général, ne peut être obtenue que par le groupement en *tension d'amorces à étincelles*. Les amorces à fil réclament la disposition en dérivation, laquelle ne peut assurer la simultanéité.

Séance du mercredi 11 septembre 1889.

Présidence de M. Coxe.

La séance est ouverte à 2 h. 1/2.

M. Grand'Eury, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la précédente séance.

Le procès-verbal est adopté.

M. le Président donne lecture de la lettre suivante, qui lui a été adressée par M. Masson, à la date du 10 septembre :

« Monsieur le Président,

« Le prix d'entretien journalier d'une lampe à incandescence pour mine émis à la séance de ce jour a pu laisser une impression défavorable. Je regrette de ne pouvoir assister à la séance de demain.

« Voici un aperçu du prix de revient pour une lampe d'une bougie pendant 12 heures :

« 1° Amortissement du prix d'achat (lampe à batterie secondaire, accumulateur), soit de. . . . . 25f »
durée, un an, soit par jour. 0 08

« 2° Force motrice :

« Un cheval-vapeur produit 200 bougies. Nous devons tenir compte :

« a) Du rendement de transformation des accumulateurs, soit 70 p. °/₀ ;

« b) Du rendement plus faible des petites lampes, soit 50 p. °/₀ des lampes de 16 à 20 bougies. Rendement résultant : 0,70 × 0,50 = 35 p. °/₀ ou 70 bougies par cheval. N'en comptons que 50 pendant 12 heures,

il faudra fournir $\frac{12}{50} = \frac{1}{4}$ de cheval-heure, à 0,05, soit 1 centime $\frac{1}{4}$ par lampe et par jour :

« 8 centimes + 1 $\frac{1}{4}$ cent. = 9 $\frac{1}{4}$ centimes.

« C'est-à-dire le prix de revient de l'éclairage à l'huile.

« Veuillez agréer, etc.

« *P. S.* — Il n'est pas possible d'apprécier les autres menues dépenses de manutention, excessivement minimes — moindres que 1 ou 2 centimes. Le prix d'acquisition de la dynamo ne doit guère être pris en considération, car toute mine un peu importante doit être éclairée au jour à l'électricité et les lampes du fond ne demandent qu'un léger supplément de force motrice. »

M. Petiton donne lecture de la communication suivante sur la machine à bras perforatrice à diamants :

« En ce qui concerne les appareils nouveaux pour le forage profond, il est à remarquer que M. l'Ingénieur P.-A. Crœlius, d'Engelsberg (Suède), a réussi à construire une machine à bras perforatrice à diamants. Cet appareil, représenté Pl. XX, Fig. 1, et plus particulièrement décrit dans le brevet pris en France sous le n° 194.499, ressemble en partie aux machines à perforer américaines, mais il est construit d'une manière encore plus simple. La machine même est supportée par quatre montants creux qui peuvent s'allonger ou se raccourcir à volonté pour s'appliquer aux infractuosités du terrain. Dans des chambres de travail basses et étroites, on enlève 2 des montants et la machine est supportée par les 2 autres montants placés entre le plafond et le mur. La tige (du foret) et le foret reçoivent, par l'intermédiaire d'engrenages coniques, leur mouvement

rotatoire de deux arbres munis de manivelles à bras. Le mouvement du foret s'obtient à l'aide d'un levier muni d'un contrepoids. Ce levier agit sur une poulie reliée à la tige du foret par une corde. L'eau nécessaire vient d'une pompe qui est également mise en mouvement à la main.

« Avec cette machine, qui est particulièrement utile aux mines où, comme c'est le cas en Suède, l'on ne dispose pas d'air comprimé, on perfore jusqu'à une profondeur de 60 à 70 mètres. Le trou le plus profond perforé jusqu'ici est de 70^{m},06, ce qui, avec une machine d'une construction si simple, est un résultat très beau. Les trous peuvent se faire dans n'importe quelle direction, et même de bas en haut. La machine avec 70 mètres de tuyaux et tous les accessoires pèse 700 kilog. environ.

« On a essayé la première machine de ce type en mai 1887. Depuis cette époque, la longueur des forages exécutés en Suède par *Svenska Diamant-Bergborrnings* (Société par actions des forages des mines à l'aide de la machine décrite) a atteint 4379^{m},30 pour 3895 1/2 attaques, soit 1^{m},12 par attaque, ce qui, en raison de la nature de roches extrêmement dures qui ont été travaillées, et des frais relativement peu élevés, doit être considéré comme un résultat très important, puisqu'on va 15 ou 20 fois plus vite qu'avec le forage à la main, et on dépense deux fois moins.

« Il est peut-être bon d'indiquer que, par suite de ces forages, plusieurs beaux filons ont été découverts, entr'autres un filon de cuivre de 4^{m},50 de puissance à Roros, ainsi que des filons de fer d'excellente qualité, d'une puissance de 10 à 20 mètres à Dannemora et Persberg.

« Le professeur Nordenström, de l'Ecole supérieure des mines à Stockcholm, dit dans un numéro de *Jern-*

kontorets Annaler (Annales du Bureau des mines de fer) concernant les forages exécutés avec cette machine :

« Par tout ce qui précède, il est démontré que des « résultats très satisfaisants ont été obtenus en em- « ployant la machine à bras perforatrice à diamants « pour des recherches dans les mines, et sans doute « l'introduction de ce mode de recherches est d'une « très grande importance pour notre exploitation mi- « nière. »

M. Guilhaumat donne ensuite lecture de la note suivante sur l'exploitation d'un gîte de houille puissant, très inflammable et fortement incliné (Saint-Eloy) :

« L'exploitation des grandes couches de houille a constitué de tout temps et constitue encore aujourd'hui un des problèmes les plus complexes, les plus délicats qu'ait à résoudre l'ingénieur. Aussi a-t-elle toujours été l'objet d'études nombreuses, d'essais méthodiques et de publications intéressantes.

« Le sujet semblerait même épuisé, si la somme d'imprévu et de cas particuliers que peut rencontrer le mineur dans sa lutte souterraine n'était, en quelque sorte, illimité.

« C'est d'un de ces cas particuliers, celui d'un gîte puissant très inflammable et très incliné, que je me propose d'entretenir un instant le Congrès.

« Le gîte dont il s'agit est celui de Saint-Eloy, dont un relief a été exposé dans la classe 48, par la Compagnie des Forges de Châtillon et Commentry.

« Le bassin houiller de Saint-Eloy est situé dans le Puy-de-Dôme, au nord-ouest de l'arrondissement de Riom, à quelques kilomètres du département de l'Allier. Il court du S.-S.-O. au N.-N.-E., entre le col de Gouttières et le plateau de Virlet-de-Bouble, encaissé sur

tout ce parcours entre deux lignes de soulèvements granitiques. Par la nature de sa houille et celle de ses fossiles végétaux, il paraît se rattacher à la formation houillère supérieure.

« Les couches exploitables qu'il renferme sont au nombre de deux, dont la puissance respective varie de 5 à 40 mètres, mais qui réunies en faisceau par l'effet de plissements énergiques, présentent jusqu'à 160 mètres de traversée horizontale. L'allure verticale ou fortement inclinée est des plus fréquentes dans la partie supérieure du gîte, la seule exploitée jusqu'à ce jour.

« La houille est généralement demi-grasse ou même sèche à longue flamme, à stratification nette ou confuse, suivant les points du gîte, à cassure conchoïdale, pauvre en pyrites, mais très inflammable. Elle donne à la distallation de 32 à 40 p. °/₀ de matières volatiles. L'absence, ou tout au moins la faible proportion de pyrites associée à une grande inflammabilité, confirme une fois de plus le résultat des expériences faites à Commentry par M. Henri Fayol, renversant l'idée longtemps admise que la présence des pyrites, était la principale, sinon l'unique cause des incendies spontanés dans les houillères.

« Allure verticale, grande puissance, grande inflammabilité, telles étaient les trois données sur lesquelles il fallait asseoir une méthode rationnelle.

« Je dirai tout de suite qu'après de nombreux essais, la solution s'est trouvée dans l'association de la méthode horizontale et de la méthode verticale s'appliquant à des étages de faible hauteur. La méthode horizontale telle qu'on la pratique, par exemple, à Montrambert est simple et commode. Elle se prête à un rendement élevé du piqueur, à une forte production de gros et à un remblayage soigné. La méthode verti-

cale ne possède qu'une faible partie de ces avantages, mais elle a celui fort important d'enlever assez vite toute portion de gîte disloquée par le dépilage pour qu'elle n'ait jamais le temps de s'allumer, quel que soit son degré d'inflammabilité.

« On a tâché, dans la méthode appliquée à Saint-Eloy, de conserver les avantages essentiels de chacune des deux méthodes et d'en atténuer les inconvénients. On a eu recours, pour cela, aux tranches horizontales déhouillées *simultanément* sur toute la hauteur de l'étage ou, plus exactement, du *sous-étage*, cette hauteur n'excédant pas $7^{m},50$.

« La hauteur de l'*étage*, celle à laquelle correspondent les travaux importants d'aménagement, est de *15 mètres*. Elle comprend donc *deux* sous-étages. Ces sous-étages sont enlevés dans l'ordre *descendant*, c'est-à-dire en commençant par le sous-étage *supérieur*.

« C'est surtout le déhouillement du sous-étage qui caractérise la méthode et je me propose d'entrer, à ce sujet, dans quelques détails.

« Le mode de déhouillement par tranches horizontales simultanées peut être défini d'un mot :

« Qu'on se représente la méthode par tranches inclinées *simultanées* de la Grand'Combe, méthode décrite dans la plupart des cours d'exploitation, notamment dans ceux de Callon et de M. Haton de la Goupillière ; qu'on rabatte tout le système dans un plan horizontal, la puissance de la couche représentant celle d'un sous-étage, et l'on aura une idée très juste sinon du détail de la nouvelle méthode de Saint-Eloy, tout au moins de l'esprit qui a présidé à sa création.

« La *méthode par tranches horizontales simultanées* a été appliquée de deux façons à Saint-Eloy, suivant la puissance du gîte, c'est-à-dire l'épaisseur transversale dont on disposait.

« *1er mode.* — J'ai dit plus haut que cette épaisseur atteignait parfois 160 mètres. Les traversées excédant *100 mètres* se rencontrent couramment dans la concession de la Roche. Dans ce cas, la méthode en plein développement offre une série de piliers longs de 20 mètres de large pour $7^m,50$ de haut situés de part et d'autre d'une recoupe médiane placée à la base du sous-étage. Ces piliers sont déhouillés sur *toute leur hauteur* par trois ouvrages en travers de 6 mètres de large sur $2^m,50$ de haut situés au niveau de chacune des trois tranches qui constituent le sous-étage et placés à 4 mètres en retraite les uns par rapport aux autres. Il va sans dire que les ouvrages de la 2e et de la 3e tranche sont établis sur les remblais.

Le croquis (Fig 3, Pl. XX), qui est une coupe suivant la *direction* du gîte, représente le dispositif adopté. Il suffit d'y jeter un coup d'œil pour se convaincre qu'aucune dislocation de longue durée n'est possible dans le massif exploité, la parallélipipède de houille ABCD qui est le premier disloqué étant presque aussi vite enlevé que s'il l'eût été par la méthode verticale.

La méthode dont il s'agit jouit donc à très peu près des avantages de la méthode verticale sans sacrifier aucun de ceux de la méthode horizontale pratiquée en montant, qui sont la sécurité, la souplesse, un rendement élevé de piqueur et une proportion considérable de gros dans les charbons durs.

On a reproché à la méthode horizontale ascendante d'exiger un entretien coûteux de voies de roulage établies sur les remblais. L'inconvénient disparaît presque en entier quand on a affaire à un remblai argilo-siliceux ou à un remblai équivalent associé à une proportion suffisante de *gros* matériaux (45 à 50 p. %), ceux-ci étant disposés géométriquement, c'est-à-dire de façon

à présenter le maximum de résistance. En d'autres termes, il faut choisir convenablement les remblais et les mettre en place avec précision suivant une méthode et une règle parfaitement déterminées. Le remblayage de jour, qui peut être considéré comme un des éléments essentiels de la méthode, promet de réaliser très sûrement ces conditions.

Etudions l'exploitation d'une tranche :

Je passerai sous silence le détail de l'aménagement qui rappelle beaucoup celui des tranches inclinées simultanées, à cela près que ce qui se passe dans le plan du gîte pour les tranches inclinées se passe ici dans un plan horizontal.

A un moment donné, l'exploitation présente de part et d'autre de la recoupe *A B* le dispositif (Fig. 4).

Des piliers longs de 20 à 25 mètres de largeur que, pour fixer les idées, je supposerai au nombre de *quatre*, sont déhouillés *en travers* par une série de chantiers de *6 mètres* de largeur, disposés en baïonnette, se tournant le dos deux à deux, recevant leur remblai par les galeries d'allongement impaires 1, 3, 5, et écoulant leur charbon par les galeries paires 2 et 4. Il n'y a de traçage que celui nécessaire à l'établissement de la recoupe *AB* et de ses massifs protecteurs. On procède par dépilage *immédiat*. Le déhouillement se poursuit jusqu'à 100 ou 120 mètres de la recoupe AB.

Le même dispositif existe dans les trois tranches. On a soin de ne placer ni les recoupes ni les costresses dans le même aplomb.

Un plan incliné PP′ ayant sa tête à la base de l'étage supérieur où il puise le remblai, dessert les trois tranches. Il a son pied au niveau et non loin de la recoupe AB où il descend le charbon des tranches 2 et 3.

Si on veut faire une production *intensive*, chaque

pilier peut être déhouillé dans chaque tranche par *deux* chantiers au lieu d'un, ce qui, pour une traversée de 100 mètres, c'est-à-dire pour 8 piliers disposés de part et d'autre de la recoupe AB, donne sur la hauteur totale du sous-étage *48* chantiers fournissant ensemble *950* à *1.000* bennes de *450* kilog. (net).

Mais généralement on se contente d'un ouvrage par pilier et par tranche, ce qui correspond à une production de *500* bennes. Il est ainsi plus facile de conserver à la méthode son vrai caractère, qui est de ne donner à chaque tranche que très peu d'avance sur celle qui la surmonte immédiatement.

Chaque chantier est conduit par *trois* hommes chargés à la fois de l'abatage, du boisage et du remblayage, chacun de ces travaux étant l'objet d'une rémunération spéciale. En marche normale, deux hommes travaillent à l'abatage ou au boisage pendant que le troisième s'occupe du remblayage et de la construction des murs. Il règne un intervalle maximum de $2^m,50$ à 3 mètres entre le front de taille et les remblais. On y établit une voie mobile qui se déplace au fur et à mesure de l'avancement.

2e mode. — Quand le gîte a moins de *50 mètres* de puissance, le déhouillement se conduit d'une autre facon, bien que le principe de la simultanéité du dépilage dans les trois tranches soit rigoureusement maintenu.

Dans le mode qui vient d'être décrit, l'ensemble des tranches avance en gradin dans le sens de la *direction*. Dans le 2e mode, le gradin caractéristique persiste, mais au lieu d'avancer en direction il avance *en travers*. En d'autres termes, ce qui était tout à l'heure une coupe en long devient une coupe en travers.

Voici quelques détails :

A partir du profil suivant lequel le gite a été recoupé, de part et d'autre de ce profil on trace à 9 mètres du mur une galerie d'allongement que l'on aère en la mettant en communication avec les travaux encore ouverts du sous-étage supérieur. Cela fait, on enlève par chantiers de 4 mètres pris en travers la bande au mur ainsi découpée. Ces chantiers sont espacés de 12 mètres d'axe en axe, laissant ainsi entre eux un massif de *8 mètres*. Les remblais suivent l'abattage. C'est la disposition en baïonnette du mode précédent, à cela près que le chantier est en cul-de-sac, ce qui est un peu moins commode pour les manœuvres.

Une fois la bande au mur enlevée, on bat au large du côté du toit, en attaquant sur la galerie d'allongement AB une 2e série d'ouvrages de 4 mètres avançant en recoupe ; mais au lieu de les pousser jusqu'au toit qui peut se trouver encore fort loin, on les arrête à 9 mètres en ayant soin de ménager à leur extrémité l'emplacement a, a′,a″ (Fig. 5) de la galerie d'allongement *A′B′* qui devra se substituer à la galerie *AB* après l'enlèvement de la bande n° 2. De cette façon, il n'y a jamais *qu'un seul traçage* par tranche.

Dès que la bande au mur (n° 1) est enlevée et en même temps qu'on attaque la bande n° 2, on s'élève en 2e tranche sur un grand nombre de points à la fois pour ouvrir la galerie d'allongement A″ et enlever la bande au mur *C″* (Fig. 6).

La bande n° 2 (C′) de la première tranche est donc déhouillée en même temps que la bande n° 1 (C″) de la deuxième tranche. C″ enlevé, on monte en troisième tranche et après avoir tracé la galerie A‴ on déhouille la légère bande au mur qui peut rester.

« A un moment donné, l'exploitation présente, en coupe transversale au gîte, la disposition représentée (Fig. 6) : les bandes nos *4* en 1re tranche, *3* en 2e, *2* en 3e

ou d'une manière générale, *n* en 1re tranche, *n-1* en 2e et *n-2* en 3e sont déhouillées *simultanément*.

« Il n'y a jamais, en définitive, qu'une galerie par tranche, galerie qui sert à la fois à l'arrivée du remblai et au départ du charbon, mais cela n'a rien de gênant, car ce sont les mêmes véhicules qui servent aux deux transports. On peut, d'ailleurs, si les besoins l'exigent, réserver en 1re tranche une galerie collectrice de retour des charbons, galerie mise en communication avec les tranches supérieures au moyen d'un plan incliné situé à l'extrémité du *panneau* en exploitation.

« On exploite, en effet, non seulement plusieurs tranches, mais aussi plusieurs panneaux à la fois. Je viens de décrire l'exploitation des panneaux nos 1, ceux qui s'étendent à *100 mètres* en direction de part et d'autre du profil d'origine. Celle des autres est identique. On règle la marche du déhouillement dans les divers panneaux, de façon à ce qu'il n'en soit jamais au même instant à la même période, ce qui assure la régularité de la production.

« Ce mode permet une *grande concentration de travaux*, chaque panneau de 100 mètres pouvant produire *175* tonnes par poste, pour un développement de galeries n'excédant pas *350* mètres, soit *2* mètres par tonne, ce qui est peu. A ce point de vue, il est supérieur au 1er mode, qui exige, au minimum, 3 mètres de galerie par tonne journellement extraite. En revanche, le 1er mode se prête à une circulation plus indépendante du remblai, à un rendement plus élevé du piqueur et à un aérage à peu près parfait, le courant d'air passant constamment au front de taille.

« Pour revenir au remblayage de jour, je dirai qu'il a pu être associé à Saint-Eloy un roulage en circuit fermé, ce qui augmente encore ses avantages. Le puits d'extraction (il n'y en a qu'un pour 160.000 tonnes) a

son orifice sur un point légèrement culminant, par rapport aux deux carrières à remblai qui desservent l'exploitation. Partant de cet orifice, les bennes vides se dirigent, par l'action de la gravité, vers les carrières, s'y chargent et pénètrent dans les travaux par une balance ou un plan incliné. Elles arrivent au chantier, sont vidées de remblai et après avoir été chargées de charbon, gagnent l'accrochage du puits d'extraction. Les remblais ne descendent jamais par ce puits, ce qui a l'avantage de n'exiger ni élargissement, ni voies supplémentaires aux recettes.

« Le remblayage de jour dont les premiers essais méthodiques remontent à 20 ans, ne s'étant guère généralisé que depuis 10 à 12 ans, c'est-à-dire depuis la dernière Exposition universelle, il m'a paru rentrer dans l'esprit des travaux du Congrès. J'en résume, comme suit, d'après mes observations personnelles, les principaux avantages :

« 1° *Meilleure confection des remblais* qui s'exécutent sous une surveillance plus active et plus sûre, avec le concours et sous la responsabilité des principaux ouvriers du chantier ;

« 2° *Enlèvement des bois rendu plus facile, plus certain et plus sûr*, ce qui, indépendamment de l'économie très sérieuse qui en résulte, a une importance toute particulière dans les couches inflammables ;

« 3° *Dosage précis du remblai*, les bennes à leur retour par les carrières pouvant, à chaque instant, s'y arrêter en nombre plus ou moins grand, suivant les besoins assez variables de l'exploitation ;

« 4° *Possibilité d'obtenir, en raison de la perfection et de la solidité des remblais*, le maximum de concentration des travaux et de réduire au minimum les

risques d'incendie, en permettant d'associer la méthode verticale à la méthode horizontale ;

« 5° *Meilleure utilisation du matériel roulant*, dont le parcours total, en 24 heures, est réduit de *15* à *20* p. °/₀ ;

« 6° *Economie résultant* de la suppression de la majeure partie des surveillants de nuit, d'un nombre important de chevaux (utilisation de la gravité, roulage en circuit fermé), de tous les ouvriers affectés au service de nuit des plans inclinés et de la majeure partie de ceux affectés au transport des remblais, les voituriers de jour conduisant aussi bien des bennes de remblai que des bennes vides. A Saint-Eloy, cette économie n'a pas été inférieure à *0f,30* par tonne ;

« 7° *Simplification du roulage* par la suppression des doubles voies, des voies de gare et des encombrements qui se produisent aux points d'évitement, lorsque le roulage a lieu par courants *inverses ;*

« 8° *Meilleur rendement des ouvriers* qui, mieux reposés, travaillent avec plus d'ardeur, d'attention et de goût ;

« 9° *Amélioration sensible du travail en carrière.* — Bien qu'avec le remblayage de nuit, l'abatage du remblai se fasse de jour, le chargement doit se faire en partie de nuit, à moins d'avoir un matériel spécial très important. En hiver, par la pluie, le vent ou la neige, ce chargement est fort pénible, parfois dangereux. Le rendement des ouvriers chargeurs se ressent de ces mauvaises conditions. De plus, le travail nocturne exige des frais d'éclairage que supprime le remblayage de jour. Enfin, ce qui est fort important dans les couches inflammables, le chargement de jour permet de veiller exactement *au bon choix des remblais.*

« En résumé, la méthode qui vient d'être décrite repose

sur deux principes très simples : 1° déhouillement d'un seul coup, sur toute sa hauteur, d'un étage peu élevé (plus exactement d'un *sous-étage*) situé immédiatement sous les remblais de l'exploitation précédente ; 2° confection précise de remblais compacts et résistants basée sur l'application du remblayage de jour.

« Avant 1880, on procédait à Saint-Eloy par tranches successives prises de *bas en haut*. On attendait, pour enlever une tranche, que celle immédiatement inférieure fût entièrement déhouillée, dans le but, disait-on, de donner aux remblais le temps de se tasser. Malheureusement, on donnait aussi à la houille le temps de se disloquer et de s'enflammer. Du reste, au lieu de se placer à une faible distance des travaux supérieurs, on prenait des étages de *15 mètres* qu'on attaquait *par le bas*, ce qui aggravait encore les inconvénients du procédé. Il était rare qu'on n'eût pas le feu en 4e et même en 3e tranche. C'était alors la lutte interminable et l'abandon d'un tonnage de houille important.

« A partir de 1880, on renonça aux tranches successives et aux étages élevés. C'est alors que prit naissance la méthode par tranches *simultanées*.

« Après avoir essayé, en 1882, de lui substituer les abatages qui, appliqués d'une certaine façon, semblaient présenter les mêmes avantages au point de vue des feux, on y est définitivement revenu en 1885.

« Je serais incomplet si je n'ajoutais que, malgré la sûreté de la méthode, on s'organise systématiquement de manière à pouvoir combattre instantanément tout échauffement qui viendrait à se produire. Pour cela, on ménage en 2e tranche de chaque sous-étage, c'est-à-dire entièrement au milieu des remblais, une *galerie d'observation*, qui permet d'embouer immédiatement tout point contaminé de l'exploitation inférieure. Il est rare, dans ces conditions, qu'on ait à recourir aux

travaux en rocher, comme moyen de lutte ou de préservation, ce qui est encore un avantage. *L'embouage*, en effet, méthodiquement pratiqué de *haut en bas*, est toujours assuré du succès.

« Cet ensemble de dispositions a donné à Saint-Eloy les meilleurs résultats. Les feux ont à peu près disparu, la production individuelle, favorisée par un aménagement plus rationnel et de meilleures conditions hygiéniques, s'est notablement élevée. Enfin, l'on n'a plus eu à compter avec les complications de toute nature, si fréquentes dans l'ancienne exploitation. »

M. le Président. — La parole est à M. Syroczynski, ingénieur des mines à la Commission permanente de la Diète de Galicie.

M. *Syroczynski.* — Le temps nous manque absolument, Messieurs, pour discuter une nouvelle question d'exploitation des mines, mais je ne puis faire le tort à mon sujet de le présenter trop raccourci.

J'ai demandé la parole pour attirer votre attention sur un changement considérable qui a eu lieu dans le creusement des puits à pétrole dans mon pays (Galicie), puits d'une profondeur moyenne de 200 à 500 mètres. Ce changement s'est opéré dans le courant des dernières cinq années, et du système classique généralement connu en France, nous avons changé les tiges de sonde, leur attache au trépan et au levier de battage, — la transmission du mouvement et le tubage des puits. Tous les détails du nouveau procédé, ainsi que les raisons qui nous l'ont fait adopter, sont indiqués dans une brochure qui vous a été distribuée hier et aujourd'hui par les soins du Bureau.

Nous nous trouvons très bien de la nouvelle méthode ; nos exploitants l'appliquent dans tous leurs nouveaux

travaux ; je crois donc pouvoir affirmer que c'est un perfectionnement, et je vous la présente comme telle.

Il m'a paru aussi intéressant de montrer que notre industrie du pétrole, demandant un nouveau tubage et, par conséquent, une nouvelle fourniture, présente un nouveau débouché aux forges françaises et belges. Notre exemple montrera aux industriels et aux jeunes ingénieurs français qui arrivent dans un pays étranger que l'on peut trouver mieux que d'appliquer les méthodes connues.

Nous reproduisons ici la note sur le forage canadien, dont M. Syroczynski n'a pu, faute de temps, donner lecture au Congrès :

L'industrie du pétrole en Galicie (Autriche), qui, à l'heure qu'il est, compte plus de deux cents exploitations, occupe une surface de 9.000 hectares, et donne du travail à 10.000 ouvriers, qui livre au commerce 1.200.000 quintaux métriques de produit brut dont la valeur moyenne est de 10.000.000 de francs, a subi dans le courant des cinq années dernières, c'est-à-dire depuis 1884, un profond changement. La majeure partie des exploitants, et dans le nombre tous les nouveaux venus, ont substitué à l'ancien système de forage, connu généralement sous le nom de MM. Laurent et Degousée, un système nouveau, appelé canadien.

Le but de cette note est d'expliquer ce qui a déterminé ce changement et comment il a eu lieu, d'indiquer en quoi consiste la nouvelle méthode et ce qu'elle nous a fait gagner.

I

Le premier pétrole, soumis à une distillation dans les pharmacies de Lemberg, fut recueilli dans des petits puisards auprès des affleurements oléagineux ; en 1853 ou 1854, une lampe alimentée du produit de

cette provenance éclairait déjà les chambres de service à l'hôpital de Lemberg, et vers la même date, on passait des contrats avec la direction du chemin de fer du Nord pour lui livrer du pétrole à Vienne. Nous connaissions donc le pétrole avant l'arrivée du produit américain en 1859 et 1860, mais c'est seulement depuis lors que son emploi s'est généralisé et qu'il est devenu un produit d'usage et de commerce universel.

Devenu produit utile, une valeur, le pétrole fut activement recherché, et dans ce but, comme pour son extraction, on eut recours, dès ce temps, au fonçage de puits boisés de peu de profondeur. La forte venue des gaz (hydrocarbures délétères) rendit dans certaines localités oléagineuses le foncement de ces puits dangereux et même impossible, et vers 1864, on essaya du forage des trous de sonde. Après quelques essais de forage par rodage, on employa les sondes agissant par percussion, et ces premiers appareils, moins bien montés et moins bien construits que les appareils employés aujourd'hui et même jadis en France, provenaient du type admis universellement. Ils nous furent apportés par des ingénieurs qui avaient fait leurs études en Allemagne, car, nous le noterons au passage, dès que les terrains oléagineux de la Galicie autrichienne furent connus, un grand nombre d'étrangers s'intéressèrent à cette industrie, dite *libre*, c'est-à-dire soumise au régime de la loi des mines. Ce courant s'est ralenti quand un édit impérial déclara en 1862 le pétrole d'éclairage, et en 1865 l'ozokérite partie de la propriété du sol. Il a repris à présent, surtout depuis 1885, après qu'une nouvelle loi (1884) a établi définitivement le droit de possession de ce produit, regardé tantôt comme appartenant au sol, tantôt comme minerai minier.

Dès le début de l'exploitation industrielle du pétrole

et pendant une vingtaine d'années, on a donc employé deux procédés : le foncement de puits de $0^m,60$ à 1 mètre de côté, et le forage de trous de sonde. On forait d'abord à la main, ensuite, à partir de 1870, assez fréquemment à la machine. Le creusement des puits est, à l'heure qu'il est, généralement abandonné ; nous ne nous occuperons ici que du forage.

Les ingénieurs allemands nous apportèrent le forage avec un système de tiges rigides. Les Américains essayèrent maintes fois leur système pensylvanien, de forage à la corde. Ce dernier, qui est, peut-être, très bon en Pensylvanie, où les couches sont presque horizontales, n'a pas eu de succès chez nous, car nos terrains tertiaires, assez tendres et ébouleux, avec des couches fortement inclinées, ne s'y prêtèrent guère, et l'emploi des tiges rigides, en fer, devint général.

Les traits principaux de notre sondage furent donc les mêmes que ceux des sondages français, c'est-à-dire que le trépan au bout d'une tige de surcharge et attaché par une coulisse (l'appareil à chute libre) à un système de tiges en fer, est mis en mouvement de battage par un levier à secteur ou à bascule. Les débris accumulés au fond du trou sont enlevés par une cuillère à clapet ou cloche à soupape, et le trou d'exploitation, destiné à rester ouvert, est muni d'un tubage en tôle de fer, ordinairement en colonne perdue.

L'avantage de cet outillage était une installation fort simple et la faculté d'être maniée par des ouvriers qui n'avaient aucune connaissance spéciale, et sans un long apprentissage. Quant à ses inconvénients, je n'oublierai pas de dire que, dans le début, on lui reprochait d'être coûteux, car on n'avait pas un outillage complet pour une profondeur de 150 mètres à moins de 1.000 florins (2.000 francs). Bon nombre de personnes croyaient que cette industrie ne demanderait aucune

mise de fonds. Mais quand ce système fut généralement adopté, on lui reprochait, et avec raison, de ne permettre qu'un avancement fort lent et d'être sujet à de grandes interruptions de travail. Non seulement la descente et la montée des outils relativement lourds (tiges de fer de 20 à 22 millimètres de côté), pour une profondeur tant soit peu considérable, demandaient beaucoup de temps, mais on en perdait à chaque tubage, car on était rarement fixé d'avance sur le diamètre exact à donner au cuvelage et il fallait préparer la colonne des tubes après avoir gagné l'assurance que le trou n'avait subi aucune déformation et que son diamètre n'était pas rétréci. Les accidents de forage étaient fréquents et difficiles à réparer, car ils provenaient non seulement de la manipulation des outils au fond du trou, mais aussi, dans tout le terrain où des roches inclinées et de différente nature alternent fréquemment, des éboulements et d'une déformation lente, mais continue, des parois du trou.

Ces inconvénients sont inhérents au système même ; dans notre pays ils acquerraient, toutefois, plus de force qu'ailleurs et pesaient beaucoup sur l'industrie du pétrole. Notre terrain oléagineux est formé du grès des Carpathes, lequel, néocomien ou éocène, alterne avec des marnes et argiles, et présente des couches fortetement inclinées ; de plus, toute la zone exploitée était éloignée des lignes de chemins de fer, et par conséquent des usines nécessaires à toute exploitation employant des moyens mécaniques. Et comme ces inconvénients augmentent beaucoup avec la profondeur des trous de sonde, nos industriels étaient en présence du dilemme, ou de commencer avec un petit diamètre et de ne pas arriver à la profondeur voulue, faute d'espace, ou bien de travailler à grands frais, avec un grand diamètre, et de ne pas y arriver, à cause des accidents.

A tous ces inconvénients, mécaniques et techniques, du forage s'en ajoutait encore un, que je nommerai volontiers industriel. L'eau souterraine s'infiltrait toujours en quantité notable dans les tuyaux de tôle rivés et se mélangeait au pétrole. On était forcé d'épuiser une plus grande quantité de liquide que cela n'a lieu avec une fermeture étanche, et cet inconvénient constituait, dans certains grès éocènes à gros grains et fissurés, une sérieuse difficulté d'exploitation. La colonne des tuyaux de pompe de 8 à 10 centimètres de diamètre est facile à épuiser, mais elle se remplit aussi vite, et si nous nous représentons qu'elle se trouve dans un trou de sonde de 25 à 30 centimètres de diamètre, que ce trou se remplit d'eau à chaque interruption de travail et que les interruptions sont fréquentes, car elles ont lieu à chaque avarie des pompes ou du système des tringles, il est clair que l'épuisement de certaines mines de pétrole devenait difficile, qu'elles étaient submergées et que, pour les exploiter, il fallait donner au trou une paroi étanche.

Les difficultés d'exploitation du pétrole avec notre système de forage étaient donc nombreuses et sérieuses. Notre personnel technique et administratif n'était pas, il faut le dire, à la hauteur de la tâche, et pour l'expliquer, comme pour l'excuser, il suffit de rappeler que, d'un côté, le Gouvernement refusait de satisfaire à un vœu souvent répété de notre Diète, de créer une école supérieure ou moyenne des mines ; d'un autre côté, toute la région oléagineuse du pays, c'est-à-dire une zone longeant les Carpathes, sur une étendue de 500 kilomètres, n'était traversée par aucun chemin de fer ; des principaux points d'exploitation, il fallait faire 30, 40 et même 80 kilomètres pour atteindre la voie de fer, et encore autant pour arriver aux grands centres du pays, Lemberg et Cracovie, ou aux usines qui nous fournis-

saient ou réparaient les outils de forage. On comprendra, d'après cela, que toutes les fournitures se faisaient avec une extrême lenteur et avec peu de régularité.

Dans ces conditions générales, et pour toutes ces raisons, il n'y avait pas une seule entreprise de forage dans le pays ; tout le monde travaillait en régie. On comptait bien qu'en travaillant à la main les ouvriers devaient exécuter $0^m,60$ à 1 mètre par jour, qu'en travaillant à la machine on pouvait faire $1^m,20$ à $1^m,50$; on les payait souvent à l'avancement, mais il n'y avait pas d'entrepreneur qui voulût garantir l'exécution d'un trou de sonde à une profondeur tant soit peu considérable, dans un temps raisonnablement déterminé. Vers 1880, c'est-à-dire vingt ans à peu près après l'introduction du forage dans l'exploitation du pétrole, on reconnaissait que c'était un mode de travail *employé*, mais non *applicable* à cette industrie.

Elle se développait néanmoins et les industriels ont travaillé avec bénéfice, tant que la production totale du pétrole ne dépassait pas 250.000 quintaux métriques, et que nulle concurrence étrangère n'est venue baisser le prix de 9, 8 ou 7 fl. 50 les 100 kilos de pétrole ; mais tout cela allait changer, quand, en 1882, le Gouvernement impérial d'Autriche résolut d'imposer les 100 kilos de pétrole raffiné d'une taxe de consommation de 6 fl. 50, et le pétrole brut d'un droit d'entrée de 1 fl. 10 (soit 15 francs et 2 fr. 50, eu égard à l'agio de l'or). En effet, les producteurs du pétrole, au Caucase, trouvèrent l'occasion propice de profiter de l'écart considérable des deux taxes et de la gagner, en envoyant en Autriche un pétrole distillé et demi-raffiné, que l'on déclarait à la douane comme produit brut.

On connaît les conditions de bon marché extraordinaire dans lesquelles le pétrole se rencontre au Caucase, et les facilités que le Gouvernement russe con-

cède à ses exploitants. Il nous vint donc depuis un nouveau produit appelé à Bakou pétrole brut d'Autriche (awstrijskaja neft'), que les naturalistes et ingénieurs n'avaient ni vu ni rencontré, mais que les chimistes officiels ne voulaient pas déclarer, sans phrases, produit distillé.

L'*Association pour le développement et le progrès de l'industrie du pétrole en Galicie* (1) se préoccupa de cet état de choses et réunit, en 1882, un Congrès des industriels du pétrole, à l'occasion d'une exposition régionale à Przemysl. On demanda au Gouvernement de prendre des mesures pour faire cesser cette concurrence déloyale et frauduleuse (2), mais on chercha aussi des moyens qui nous permissent de produire plus et à meilleur marché. Je fus chargé du rapport sur le progrès réalisé dans l'industrie du pétrole dans la dernière période quinquennale, et j'arrivai à la conclusion que le côté technique de notre industrie n'était pas à la hauteur des progrès accomplis dans

---

(1) Cette Association, fondée en 1881, ne vise aucun but commercial ni industriel, n'exploite par elle-même aucune mine de pétrole et ne crée pas des Sociétés d'exploitation, mais fournit des renseignements à tous ceux, sans distinction, industriels ou commerçants, hommes du pays ou étrangers, qui s'occupent du pétrole, et appuie auprès du Gouvernement les vœux généraux de ces industriels. Son siège est en Gorlice; elle a pour président, depuis sa fondation, M. Auguste Gorayski, membre de la Diète du pays; pour vice-présidents, MM. Adam Skrzynski, aussi membre de la Diète, et Stanislas Szczepanowski, membre du Reichsrath de Vienne; pour secrétaire, M. Stanislas Olszewski, docteur en philosophie et ingénieur des mines. Cette Association, connue à l'étranger pour la part qu'elle a prise aux Expositions universelles d'Anvers (1885) et de Paris (1889) a rendu les plus grands services à l'industrie du pétrole de notre pays.

(2) En faisant droit aux réclamations des députés polonais du Reichsrath autrichien, le Gouvernement a élevé le droit d'entrée du pétrole brut à 2 fl. 40 kr. en or.

l'étude géologique des terrains et avec la fabrication chimique des distilleries, que notre outillage n'était plus en rapport avec les besoins, que nous devions absolument l'améliorer ou le changer.

On s'est mis à l'œuvre, beaucoup d'essais furent faits, mais le meilleur moyen nous vint de l'étranger. En effet, en été 1884, l'administrateur d'une exploitation de pétrole de Son Excellence le feld-marchal Bellegarde, le baron Rhade, fit venir à Uherce (district de Lisko) une équipe d'ouvriers américains, au service de la Société Bergheim et Mac-Garvey, qui avaient travaillé aux recherches du pétrole dans le Hanovre.

Amenés par M. Marc-Garvey, ils apportèrent avec eux un outillage de forage appelé *canadien*, et qui ressemble, dans ses principaux traits, à celui qui se trouve représenté à l'Exposition, au pavillon austro-hongrois, au quai d'Orsay. Je les ai vus alors et j'ai été frappé par la grande rapidité avec laquelle on les mettait en mouvement, par la sécurité avec laquelle ils permettaient de travailler. En hiver de la même année, sur des données approximatives de l'avancement obtenu dans les travaux à Uherce, l'Association pour le développement et le progrès de l'industrie du pétrole en Galicie s'occupa de l'introduire dans notre pays à titre d'essai, mais ce système conquit l'assentiment général en avril 1885, lorsque le même personnel exécuta, dans des conditions de travail exceptionnellement favorables du reste, un trou de 145 mètres de profondeur en huit jours de temps et 140 heures de travail effectif.

Tel fut le début du forage canadien dans notre pays ; nous tâcherons d'expliquer en quoi il diflère du système français.

II

En me référant, Messieurs, au dessin que vous avez en main (Pl. XX., Fig. 1), je n'ai pas besoin de m'arrêter longtemps à la description de ces appareils, mais quelques détails me paraissent utiles à signaler.

Comme dans le système général de forage, nous avons un trépan, ou ciseau droit, vissé par une vis conique à la tige de surcharge, longue de 6 à 9 mètres, et d'un poids qui varie de 600 à 750 kilogrammes ; il est suspendu au moyen d'une coulisse ordinaire (d'Oyenhausen) à une série de tiges en bois de frêne (0^m,050 de diamètre), attachée au moyen d'une chaîne à un levier de battage. Cette chaîne est enroulée trois fois sur la tête du balancier, armée à cet effet d'une pièce cylindrique en fonte, avec des rainures en spirale, et attachée à un treuil placé sur le balancier même et que le maître foreur, pour allonger ou raccourcir la chaîne, met en mouvement, au moyen d'un encliquetage, commandé par la corde *a*. Le balancier reçoit son mouvement de la machine par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle calée sur l'axe de la poulie de renvoi ; on préfère les machines horizontales, fixes, éloignées de la chaudière, et par conséquent du foyer, d'une trentaine de mètres.

Dans la manœuvre des outils il y a deux opérations à distinguer : la descente et la remonte du trépan, et le battage. Pendant la descente ou la remonte du trépan, lequel est dans ce cas détaché du balancier et suspendu à une corde en aloès de 45 millimètres de diamètre, de même que pour la descente ou la remonte de la cuillère, le maître foreur est assis devant le trou de sonde et commande directement la manœuvre ; d'une main, au moyen de la tringle *b* et d'un mécanisme analogue au tire-sac, il embraye ou désembraye la poulie qui

fait mouvoir le tambour et monter ou descendre la corde et avec elle le système des tiges et les outils ; de l'autre, au moyen de la tringle *c*, il peut agir sur le frein et arrêter le mouvement des outils. En appuyant du pied gauche sur une pédale, il règle l'admission de la vapeur dans le cylindre de la machine et peut, par conséquent, varier la vitesse du mouvement. L'aide sondeur, placé à côté du trou de sonde, et un troisième ouvrier sur un plancher, à la hauteur de 10 mètres dans la tour, sont occupés à dévisser une à une et éloigner les tiges.

Pendant le battage, debout à côté du trou de sonde, les deux sondeurs sont occupés à imprimer le mouvement de rotation aux tiges, et le maître sondeur règle la descente du trépan par la corde *a* qui va à l'encliquetage, et l'admission de la vapeur au moyen d'une autre corde *d*.

Ces quelques indications permettent de se rendre compte de la manière de travailler avec ces outils. Nous ajouterons quelques chiffres utiles pour l'installation générale. La tour, entièrement couverte de planches, mesure 15 à 16 mètres de hauteur et 5 mètres de côté en bas. La partie où se trouvent la machine et la transmission occupe environ 30 mètres carrés ; au battage le balancier est levé de 50 centimètres environ, le trépan qui glisse dans la rainure l'est un peu moins ; il donne 50 à 60 coups à la minute ; et c'est le grand nombre de ces coups qui détermine l'effet utile du forage.

Quand les déblais se sont accumulés en quantité qui nécessite le curage, on descend la cuillère, c'est-à-dire un tuyau, long de 10 mètres environ, muni en bas d'un clapet qui s'ouvre par la pression sur le fond du trou. Le tuyau se remplit, on le remonte, et le clapet est dévissé pour laisser vider la cuillère. A cause de la

grande légèreté des tiges, de leurs joints à vis coniques, de l'emplacement bien aménagé et de l'habileté acquise par les ouvriers, ces opérations se font avec une vitesse surprenante. Il faut à peine une demi-minute pour détacher une tige de sondage, et un système de tiges de 200 mètres est remonté ou descendu en 10 à 12 minutes.

Pour un trou de sonde de 300 mètres, les quatre opérations, c'est-à-dire la remonte du trépan, la descente et la remonte de la cuillère et la descente du trépan, demandent tout au plus une heure de temps.

La main-d'œuvre du forage demande 3 ouvriers foreurs, dont un chef, et un chauffeur ; leur salaire ordinaire ne dépasse pas 10 florins par jour, et si on ajoute le salaire des forgerons, constamment occupés, la main-d'œuvre par jour de travail atteint 15 à 16 florins. Les ouvriers d'origine américaine se font payer le double au moins.

Le trou, dont le diamètre initial varie de $0^m,25$ à $0^m,40$ dans les terrains les plus éboulieux, et que l'on termine avec le diamètre de $0^m,10$, est soutenu et préservé des éboulements par une colonne de tuyaux en fer, soudés, vissés l'un sur l'autre et parfaitement étanches. On voit sur le dessin (Fig. 1, Pl. XX) qu'ils sont mis l'un dans l'autre, sur toute la profondeur ; ils ne sont retirés qu'après le travail terminé. On emploie des élargisseurs pour permettre de les descendre dans le trou et de ne pas diminuer son diamètre par une nouvelle colonne. Ils forment un des avantages du système canadien.

Le coût d'une installation complète d'un forage canadien varie de 8.000 à 10.000 florins, y compris une machine de 12 à 15 chevaux qui, avec la chaudière, revient elle seule à 3.500 florins. Il y faut ajouter le prix du tubage dont le mètre coûte, selon le diamètre,

de 3 à 10 et 11 florins. Comme point de comparaison, nous ajouterons que les outils en fer et en acier coûtent dans notre pays environ 90 florins les 100 kilogrammes, et le fer forgé en général de 30 à 40 florins les 100 kilogrammes.

Une longue expérience permettrait seulement d'établir l'usure du matériel de forage, le temps nécessaire à l'amortir, et par conséquent son prix de revient rationnel. Il y aurait même alors, je pense, plus d'exceptions à la règle que de cas qui la confirmeraient. Les entrepreneurs de travaux qui ne baissent le prix qu'en présence d'une concurrence sérieuse, demandent aujourd'hui 15 ou 25 florins par mètre de puits présumé de 300 mètres, plus 50 p. °/₀ dans le premier cas et 30 p. °/₀ dans le second, du pétrole obtenu. Ils abandonnent le tubage nécessaire pour la conservation du puits, mais à condition qu'on leur rembourse 50 p. °/₀ de sa valeur. On a fait aussi des contrats à 50 florins le mètre de profondeur, sans aucun intérêt dans le produit.

Comme exemple du travail, nous citerons les chiffres d'un forage de 225 mètres exécuté par M. Zenon Suszycki, ingénieur des mines à Wietrzno. Commencé avec un diamètre de $0^m,40$, terminé avec $0^m,145$, il fut exécuté en 90 jours, dont 70 de travail effectif. L'avancement moyen était donc de $3^m,20$, l'avancement maximum de $9^m,80$ par jour ; le même entrepreneur a obtenu un avancement de 20 mètres par 24 heures.

Le trait caractéristique de ce forage, c'est la confiance qu'il inspire, et l'assurance avec laquelle les entrepreneurs s'engagent à exécuter des travaux. Celui qui possède un seul outillage ne recule pas devant l'engagement de faire 800 ou 900 mètres par an, soit 4 à 5 trous de sonde d'une profondeur de 200 à 250 mètres, et il est arrivé qu'un seul entrepreneur a fait, avec le même appareil, 12 trous de sonde en une année. La grande

entreprise d'exploitation de pétrole dans les domaines de l'Etat, de M. Stanislas Szczepanowski, qui emploie plusieurs entrepreneurs de forage, a exécuté plus de 3.000 mètres de trous de soude pendant une seule année. Ces chiffres étaient impossibles quand on travaillait, il y a cinq ans encore, avec le vieux système.

III

Pour terminer mon sujet, je tâcherai de montrer comment nous avons appliqué ce système en Galicie, et ce que nous y avons gagné.

A la fin de 1884, comme j'ai eu déjà l'occasion de le dire, il n'y avait dans notre pays, qui comptait alors plus de 200 exploitations de pétrole, qu'une seule équipe d'ouvriers travaillant par la méthode canadienne. Convaincu de l'utilité de la méthode, nous avons soutenu tous les industriels qui ont constitué des entreprises de forage, et fondé une école pratique d'ouvriers foreurs.

MM. Bergheim et Mac-Garvey avaient compris que le seul moyen de profiter de leur méthode était de se constituer entrepreneurs des travaux, et d'exécuter quelques trous de sonde dans les environs même de Gorlice, sous le contrôle et quasi en présence de l'Association pour le développement et le progrès de l'industrie du pétrole dans le pays.

Ils entreprirent donc à Kryg, près de Gorlice, plusieurs forages pour le compte de la Société dite de Yaslo, laquelle avait parmi ses administrateurs M. Auguste Gorayski, président de l'Association, M. Adam Skrzynski, vice-président, M. Victor Klobassa-Zrencki, dont le nom est attaché à la plus ancienne exploitation du pétrole à Bobrka.

Ils remplirent leurs obligations à la grande satisfac-

tion des propriétaires, et furent depuis appuyés dans tous leurs travaux. Après Kryg vint Stoboda Rungurska où ils travaillèrent sous les auspices de la même Association, à la Société d'exploitation du pétrole dans les domaines de l'Etat, de M. Stanislas Szczepanowski, deuxième vice-président de l'Association, puis Targoviska, Plowce, etc.

Les travaux ne manquèrent pas à l'heureux entrepreneur, car les propriétaires demandent toujours à être fixés à bref délai sur la valeur d'un terrain oléagineux, et il faut dire à l'avantage de ces entrepreneurs qu'ils laissaient voir et étudier leurs engins, sans jalousie de métier. Ce succès stimula plusieurs de nos ingénieurs, qui avaient compris la nécessité de changer notre système de forage, et vu le système canadien appliqué en Roumanie à l'exploitation de M. Ribighéni. Ils firent venir, dès 1885, de Braunschweig en Hanovre des appareils comme ceux que l'on avait employés à Oelheim, et s'engagèrent comme entrepreneurs de travaux. Ils eurent du succès à Stoboda Rungurska, à Brylikow, Ropienka et autres localités, et pour faciliter leur tâche ainsi que dans l'intérêt général la Diète vota les fonds nécessaires pour établir une école pratique d'ouvriers foreurs. Elle existe depuis octobre 1885, et a été établie à Ropianka d'abord, puis à Wietrzno ; un ancien élève de l'Ecole des Mines à Paris, M. Zenon Suszycki, en est le directeur.

La demande des outils canadiens devint si grande que M. Zieleniewski à Cracovie et C. Lipinski à Sanok installèrent dans leurs ateliers de construction une fabrication spéciale de ces outils et engins.

Nos entrepreneurs de sondages ont travaillé non seulement en concurrence avec la Société Bergheim et Mac-Garvey, mais aussi avec plusieurs entrepreneurs étrangers employant le système français.

Ainsi Leniceki et Bubela, et Jurski ont travaillé à Stoboda Rungurska concurremment avec la Compagnie française de sondage de M. Henri Hulster, à Ropianka, Brylikow, Polana avec M. Fauck et Cie, et d'autres Sociétés anglaises, à Kryg et Libusza, en même temps que la Compagnie internationale belge de sondages, à Wietrzno et Rowne ; enfin, M. Suszycki et Cie, Leniecki et d'autres travaillent à côté de Bergheim et Mac-Garvey et de Fauck. Une Société allemande, arrivée tout récemment, a engagé un entrepreneur du pays. Toutes les exploitations de pétrole dernièrement installées à Iwonicz, Rymanow, Klimbowka, Weglowka, ne se servent que de l'outillage canadien, qui accapare décidément toute la place.

De plus, nous avons eu l'occasion de prouver que, par cette méthode, on peut exécuter des travaux réellement difficiles. Cette année déjà, M. Z. Suszycki a eu à approfondir, après une interruption de travail de deux ans et demi, le trou de sonde déjà profond de 342 mètres, que la Diète provinciale a fait forer à Ropianka dans le but d'étudier les terrains oléagineux de l'étage néocomien. Il a fait, dans deux mois de temps, 96 mètres avec un diamètre de $0^m,125$; à la profondeur de 432 mètres il a installé les pompes et exploite le trou de sonde avec profit. Ce n'est pas le travail le plus profond exécuté par ce moyen ; à Stoboda Rungurska, plusieurs trous dépassent 450 mètres, mais je cite le premier comme exemple d'un travail d'approfondissement, toujours fort difficile. Et pour montrer tout le succès de la méthode, veuillez noter qu'une Société américaine (Fader et Cie) a engagé chez nous, après une visite des travaux à Stoboda Rungurska, une brigade d'ouvriers avec leur outillage canadien, pour aller, sous la conduite du géologue Dr R. Zuber et de l'in-

génieur Rieger, reconnaître les terrains oléagineux de la République argentine.

Depuis l'emploi de la méthode canadienne de forage, la production du pétrole a beaucoup augmenté en Galicie. Elle peut être exprimée en chiffres ronds et plus exacts que ceux de la statistique officielle :

En 1884.	400.000	qu. m.
1885.	600.000	—
1886.	750.000	—
1887.	1.000.000	—
1888.	1.100.000	—

Enfin, pour tout dire, il faudrait citer les nombreuses localités qui, comme Stoboda Rungurska, ont végété jusqu'en 1880 et se sont relevées et grandies depuis l'emploi de la nouvelle méthode, ou bien celles comme Wietrzno et Rowne, situées à cent mètres des exploitations connues, où l'on ne pouvait, avant l'emploi du tubage perfectionné, atteindre les couches oléagineuses.

Voici des chiffres éloquents.

	Stoboda Rungurska		Wietrzno
En 1882. . . .	80.000	qu. m.	»
1885. . . .	250.000	—	»
1888. . . .	300.000	—	320.000 qu. m.

En résumé, la méthode canadienne de forage a puissamment contribué à la production du pétrole en Galicie. Elle a permis d'assurer l'exécution des forages de profondeur moyenne de 200 à 400 mètres et de réduire le temps nécessaire au tiers, au quart, parfois à la dixième partie du temps employé précédemment; ce temps réduit engagea plus d'un à s'intéresser à une industrie qui ne reste pas moins aléatoire, mais dont on peut espérer le succès dans un délai relativement très bref. Ensuite, elle a permis de distinguer les entrepre-

neurs de forage des entrepreneurs d'exploitation, de diviser le travail, la responsabilité et le gain; un grand nombre de propriétaires de mines s'en sont trouvés fort bien. Le travail, payé assez cher encore, est mieux exécuté; on a atteint des profondeurs plus grandes et découvert des venues de pétrole qui, sans cela, resteraient ignorées à l'heure qu'il est. Je ne donnerai de ce fait qu'un seul exemple tiré de la mine de Wietrzno, dont les photographies sont à l'Exposition. Les dix à douze puits donnent cette année 300.000 qu. m.; un seul a donné 4.000 h. l. en huit jours de temps. Le terrain oléagineux est voisin de Bobrka, la plus ancienne mine du pays, dirigée dans le temps par feu Lukasicurcz; il fut révélé par des venues de gaz, qui par deux fois empêchèrent le creusement d'un puits; celui-ci fut deux fois abandonné, là où à 260 mètres et 300 mètres de profondeur se trouvaient les fortes venues que nous venons de citer.

Non seulement le travail mécanique du forage, mais l'exploitation du pétrole fut beaucoup améliorée par le fait de l'emploi d'un tubage en fer étiré et soudé, constituant une fermeture étanche contre les eaux souterraines. En effet, cette fermeture ne pouvait être obtenue et maintenue aussi longtemps avec des tubes de tôle rivés, et quand on proposait l'emploi des tubes en fer étirés rien que pour fermer les eaux dans certains terrains, les industriels voyaient là une grande dépense supplémentaire. Il n'en est plus de même aujourd'hui que ces tubes font partie intégrale de l'outillage du foreur. On les place dans les trous de sonde avant d'avoir atteint les couches oléagineuses et les conduit jusqu'en haut du trou.

Les conséquences de cette installation ont été plus grandes qu'on ne le supposait. On croyait seulement fermer l'arrivée de l'eau, diminuer les quantités de li-

quide à épuiser et empêcher les dépôts qui fermaient l'affluence du pétrole ; on a eu plus, on a créé des conditions pneumatiques qui font que les jets de pétrole dans les tubes à petit diamètre sont tout aussi fréquents en Galicie qu'au Caucase. Wietrzno, Rowne, Klimkowka, Rymanow, Weglowka, Madjan, etc., ont leurs jets de pétrole, et un trou de sonde à Bobrka, à parois étanches, déverse, par an, depuis trois ans déjà, 6.000 quintaux métriques de pétrole sans qu'on ait besoin d'établir un épuisement mécanique.

Faut-il conclure que le forage canadien est appelé à remplacer le forage classique des maisons françaises ? Non. Il n'est tout à fait bon que dans les terrains de dureté moyenne, où le choc du trépan tombant de $0^m,20$ à $0^m,30$ suffit pour briser les roches ; on ne l'emploiera pas pour des trous de sonde d'un diamètre supérieur à $0^m,30$ ou $0^m,40$, car le prix des tubes s'élève beaucoup quand le diamètre dépasse $0^m,20$; mais c'est le forage qui convient le mieux aux terrains oléagineux de l'Europe et il est le mieux approprié à une industrie qui ne nécessite pas de grands travaux, mais demande néanmoins un forage prompt et à temps donné.

M. Maignen donne lecture de la communication suivante sur un procédé qu'il a imaginé pour doser ou récupérer dans les solutions très étendues les métaux qui y sont dissous naturellement ou artificiellement.

J'ai découvert que les corps plus ou moins poreux réduits en poudre impalpable, notamment le charbon, ont la propriété plus ou moins considérable (suivant leur nature) de fixer ou précipiter les métaux dissous dans l'eau ou autres liquides neutres ou plus ou moins acidulés.

Ainsi une dissolution de chlorure de plomb dans

laquelle on agite une quantité déterminée de charbon en poudre impalpable donne son plomb au charbon, le chlore restant dissous dans l'eau. Egalement une dissolution de bichlorure de mercure donne le mercure au charbon et conserve le chlore.

J'ai aussi observé que le pouvoir absorbant du charbon ou autre corps plus ou moins poreux et finement trituré est à peu près constant et qu'une certaine quantité de charbon ou autre corps finement trituré absorbe ou précipite une quantité déterminée de métal dissous dans l'eau ; que différents métaux demandent une quantité différente de charbon ou autre corps trituré pour être entièrement absorbés ou précipités.

Donc pour doser la quantité d'un métal dissous dans l'eau, dans l'alcool, ou autre liquide, on doit s'assurer, en précipitant préalablement tous les autres métaux qui pourraient être contenus dans la solution au moyen des réactifs connus, qu'il n'y a plus dans l'eau ou autre liquide que le métal qu'on veut estimer, et alors on ajoute graduellement le charbon ou autre corps trituré jusqu'à ce que tout le métal soit absorbé ou précipité.

Une échelle basée sur le pouvoir absorbant déterminé à l'avance, du charbon ou autre corps trituré, permettra de faire une analyse très prompte et correcte des métaux dissous dans l'eau ou autre liquide, sans autre appareil que les réactifs, le charbon ou autre corps trituré, une balance et des filtres en papier.

Lorsqu'on se trouvera en présence d'une source ferrugineuse ou métallique, lorsqu'on voudra avoir des métaux très purs, ou faire des alliages très justes, ou bien encore là où il sera trouvé difficile, coûteux ou impossible de retenir ou réduire les métaux par les procédés actuels, par exemple dans les pays lointains où le charbon et la main-d'œuvre sont chers et les installa-

tions ordinaires dispendieuses, ou encore lorsqu'on voudra recouvrer les métaux des scories ou directement du minerai ; alors on traitera par la voie humide suivante, qui résume mon invention :

1° On dissout le métal qu'on veut récupérer (s'il n'est pas naturellement dissous) dans l'eau ou autre liquide neutre ou acidulé.

2° S'il y a plusieurs métaux dans la même solution et qu'on veuille les extraire séparément, on précipite ceux qu'on veut éliminer par les réactifs connus et usuels, de façon à ne laisser dans la solution que le métal qu'on veut traiter.

3° Alors on met le charbon ou autre corps trituré en contact avec la solution, soit en mélangeant les deux mécaniquement par les moyens connus, soit par l'appareil automatique décrit dans mon brevet du premier août 1884, ou par tout autre moyen, ou en passant la solution à travers une couche du charbon ou autre corps trituré, la quantité nécessaire étant déterminée par dosage préalable.

4° Dans le cas où il serait utile de chauffer ou refroidir la solution pendant l'opération, ou bien encore de mettre la solution avant, pendant ou après traitement avec du charbon ou autre corps trituré, en contact avec une atmosphère gazeuse, carbonique, azoteuse ou oxygénée, on la fait circuler dans l'un ou l'autre des appareils décrits dans mon brevet du 24 décembre 1888.

L'une ou l'autre de ces opérations ou les deux ensemble peuvent faciliter l'opération.

5° Si on veut avoir des alliages déterminés on peut dissoudre les différents métaux dans le même liquide et les traiter avec le même charbon ou autre corps trituré ; on peut aussi faire différentes solutions, les traiter sépa-

rément avec du charbon et mélanger, soit dans les solutions, soit à sec, les différents corps triturés employés pour l'opération.

6° On décante au moyen des appareils décrits dans mon brevet du 24 décembre 1888 ou de toute autre manière, ou bien encore on filtre avec l'appareil breveté le 13 juillet 1888. L'eau ou autre liquide peut avoir une certaine valeur à raison des acides ou autres substances qui y auront été ajoutées pour faciliter la solution des métaux ou leur précipitation.

Un bon système de décantage ou filtrage pourra donc être utile dans l'application de mon procédé nouveau.

7° Enfin, le charbon ou autre corps trituré qui a absorbé ou précipité le métal ou les métaux est mis au feu dans un creuset ou four s'il y a lieu de réduire l'oxyde en métal.

8° J'ai aussi trouvé que certaines solutions métalliques faisaient dégorger au charbon ou autre corps trituré les métaux préalablement précipités.

M. Foster donne lecture de la communication suivante sur l'Inspection des Mines et sur la statistique minérale de la Grande-Bretagne et de l'Irlande.

Il faut expliquer dès le commencement que le mot *mine* en Angleterre n'a pas légalement la même signification que le mot écrit de la même manière en France. Chez nous, le mot *mine* s'applique en droit à toutes les exploitations souterraines. La question, si une exploitation donnée doit être considérée comme mine ou comme carrière, se détermine par la nature de l'exploitation et non pas, comme en France, par la nature de la substance exploitée.

Les mines selon leur nature sont sujettes à une ou deux lois :

1° L'acte de Parlement pour les houillères ;

2° L'acte de Parlement pour les mines métallifères.

Le premier comprend non seulement les mines de houille, mais aussi les mines de minerai de fer stratifié, de schiste et d'argile réfractaire.

Le second comprend toutes les autres mines.

Les titres qui ont été donnés à ces deux statuts paraissent un peu contradictoires, parce que les grandes mines de fer du Cleveland sont sujettes à la loi houillère, tandis que beaucoup de mines sujettes à la loi métallifère ne produisent pas de minerais, mais sont exploitées pour des substances telle que l'ardoise, la pierre de taille, le calcaire, etc.

Il faut que cette application des deux lois soit bien comprise par ceux qui veulent comparer les houillères ou les mines métalliques anglaises avec celles du Continent, parce qu'autrement on pourrait arriver à des conclusions erronées.

Je passe maintenant à l'Inspection.

Quant au statut houiller, le Royaume Uni est divisé en 12 districts ; chacun d'eux a son Inspecteur en chef et un ou deux aides.

Les inspecteurs doivent aussi administrer le statut métallifère dans leur district. Il y a aussi deux inspecteurs qui n'ont rien à faire avec les houillères et qui administrent le statut métallifère dans le Sud-Ouest de l'Angleterre, le pays de Galles et l'Isle-sur-Man.

Pour administrer les deux statuts il y a 14 inspecteurs en chef et 19 aides.

Le statut houiller est naturellement le plus important, parce qu'en 1888 il y avait 534.935 personnes em-

ployées dans les mines sujettes à cette loi, et seulement 43.472 dans les mines sujettes à la loi métallifère.

Comme beaucoup d'entre vous, Messieurs, le savent aussi bien que moi, le statut houiller est bien plus sévère et contient des règlements bien plus détaillés que le statut métallifère. A mon avis, ce dernier a besoin de beaucoup de modifications. Il n'est pas nécessaire que je vous cite tous les changements que je voudrais introduire, je vous en indiquerai pourtant un seul : l'examen des ingénieurs qui conduisent les travaux. Telle que notre loi existe à présent, rien n'empêche, par exemple, un tailleur d'être ingénieur d'une grande usine métallique. Si les certificats de capacité sont nécessaires pour les houillères, ils le sont non moins pour des mines plus dangereuses, comme celles d'étain de Cornouailles et les ardoisières souterraines du pays de Galles.

Le devoir de l'inspecteur se borne à faire exécuter la loi ; il s'occupe tout simplement des questions de sûreté et de salubrité ; il n'a rien à faire avec les redevances, comme l'inspecteur français. Chaque inspecteur en chef fournit un rapport annuel qui est présenté aux deux Chambres du Parlement.

Statistique minérale.

La statistique minérale de l'Angleterre dressée par les inspecteurs des mines comprend :

1° Le nombre de personnes employées dans chaque district inspectoral, classées selon leur emploi au fond ou au jour, leur âge et leur sexe ;

2° Le nombre des accidents et des tués ;

3° La production des mines, de quelques carrières et des hauts-fourneaux ;

4° L'exportation et l'importation des produits miniers ;

5° La production des mines des colonies britanniques.

Le statut houiller défend la publication de la production d'une mine individuelle et nous ne pouvons donner que la production par comté ou par partie d'un comté.

Le statut métallifère au contraire ne contient pas cette prohibition et nous publions la production exacte de beaucoup de mines d'ardoise, d'étain, de fer, plomb et zinc.

Dans l'arrangement nous adoptons l'ordre alphabétique, comme étant le plus simple ; et comme le nom de la substance est imprimé sur le haut de chaque page, on n'a pas besoin d'index.

Je concluerai en faisant une proposition qui, à mon avis, mérite d'être discutée par le Congrès. Un des devoirs du Congrès international géologique a été de préparer la carte géologique de l'Europe. Ne vous serait-il pas possible de préparer une statistique minérale de l'Europe d'abord et plus tard du monde entier ? Je ne parle pas d'une statistique trop longue, mais il serait bien intéressant d'avoir trois séries de chiffres :

1° Personnes employées au fond et au jour ;
2° Accidents et tués ;
3° Production des mines.

La source des chiffres devrait être indiquée dans chaque cas, pour ceux qui voudraient chercher des renseignements plus détaillés. Je sais que déjà la statistique minérale de la France donne un tableau de production, mais je crois qu'il serait bien important d'avoir aussi des chiffres quant aux nombres des personnes employées et aux accidents. Maintenant qu'on trouve à Paris des représentants de toutes les parties du monde, l'occasion est bonne pour entamer cette question.

M. Dujardin-Beaumetz. — Messieurs, la statistique minérale officielle anglaise renferme des renseignements très complets et des indications précieuses. Ces publications portent l'empreinte des mœurs du pays. On n'y trouve pas, il est vrai, la production par houillère,mais on y rencontre sur chaque houillère des renseignements qu'on ne trouve pas généralement dans les statistiques de ce genre, tels que ceux qui concernent la superficie de la mine, le nom du propriétrire, celui de l'ingénieur, les adresses postales, la puissance des couches, le nombre des puits, etc.

Ajoutez à cela des tableaux très détaillés sur le mouvement des houilles par canaux, par chemins de fer,par cabotage.

Je crois, par conséquent, que la statistique minérale française aurait beaucoup à emprunter à la statistique anglaise en ce qui concerne surtout la façon dont cette statistique est comprise. Je n'ai qu'un regret à exprimer en ce qui concerne les statistiques anglaises, c'est que dans les chiffres des ouvriers employés dans les houillères et des accidents survenus dans la mine, on ne distingue pas les ouvriers appartenant à la mine des gens étrangers à l'exploitation de la houillère proprement dite, et particulièrement ceux occupés à l'extraction connexe de l'argile réfractaire et du minerai de fer.

M. Haton de la Goupillière. — La proposition de M. Foster me semble mériter, en effet, d'être prise en sérieuse considération. Il serait très désirable que le petit résumé dont il a parlé fût, grâce à l'entente générale de tous les gouvernements, institué partout avec une grande sûreté. Ce serait d'une importance extrême.

Toutes les fois qu'il arrive de l'étranger au Gouvernement français un document présentant un sérieux inté-

rêt, on en fait un résumé partiel. Malheureusement ces communications sont envoyées généralement par des personnes très zélées, mais qui n'ont pas la compétence nécessaire, et comme les sources d'où elles proviennent n'offrent pas une grande sûreté, le service des mines est très sévère pour les faire imprimer et les livrer à la publicité. Si l'on pouvait trouver un moyen quelconque de donner à ces communications la sûreté qui leur manque, il y aurait certainement, au point de vue de la statistique minérale, un grand progrès accompli. Le Congrès peut émettre un vœu à cet égard et tout le monde doit désirer l'établissement d'une statistique minérale complète.

M. Foster. — En ce qui concerne la statistique anglaise, j'ai déjà fait écrire au bureau de la statistique, au ministère de l'intérieur de Londres, et l'on a promis d'envoyer, tous les ans, la statistique minérale de l'Angleterre à M. Dujardin-Beaumetz.

Notre ministre a reçu avec beaucoup de plaisir le beau volume préparé par M. Dujardin-Beaumetz avec sa remarquable carte, et il a paru apprécier comme elle le méritait la façon dont on comprenait la statistique en France.

D'ailleurs, nos documents sont envoyés aux pouvoirs publics en France et je m'assurerai que le ministère des travaux publics en France les reçoit exactement.

M. das Nives Cabral, inspecteur général des mines de Portugal. — Messieurs, je suis parfaitement d'accord avec M. Foster sur la convenance qu'il y aurait à préparer la statistique minérale de tous les pays, de l'Europe d'abord, et ensuite du monde entier.

Je puis vous annoncer que le Portugal est déjà entré dans cette voie. Il y a cinq ans, on a commencé à dresser des cartes où les divers terrains géologiques,

ainsi que les concessions de mines sont représentées. On y a joint la statistique des accidents survenus dans les mines et divers autres renseignements. En 1882, on a publié la dernière statistique minérale du pays ; cette statistique a été continuée tous les ans et nous pourrons toujours l'envoyer au ministère des travaux publics et au ministère du commerce français. (*Applaudissements.*)

M. Haton de La Goupillière. — Je retiendrai le dernier mot que vient de prononcer l'orateur. Il serait, en effet, désirable que ces documents fussent envoyés au ministère du commerce, parce que c'est là qu'est le grand conseil de la statistique en France maintenant ; en raison de la spécialité et de l'importance des questions soulevées, un second exemplaire devrait être adressé en même temps au ministère des travaux publics. C'est là, je crois, qu'est la vraie solution de la question.

M. de Castro, délégué d'Espagne, dit que son pays a également, depuis quelques années, institué une statistique minérale, qu'il se fera un devoir d'envoyer aux ministères français des travaux publics et du commerce.

M. Syroczynski. — Si j'ai bien compris la proposition de M. Foster, il ne s'agit pas seulement d'échanger des documents de statistique minérale entre divers pays, — c'est ce qui se fait depuis longtemps, — il s'agirait surtout d'établir une statistique internationale de production minérale de tous les pays. Ce qu'il faudrait alors bien établir, ce sont les diverses catégories de renseignements, en nombre aussi restreint que possible, pour que chacune de ces catégories contienne bien les mêmes renseignements et ne présente pas des indica-

tions disparates. C'est ce qui a été décidé au Congrès de géologie pour que tous les terrains de même nature soient présentés sous la même coloration. Dans la matière qui nous occupe, nous n'avons pas cette même ressource de la coloration, mais on peut trouver un moyen pour que la confusion que je signale ne se produise pas.

Si cette proposition de l'institution d'une statistique minérale internationale était adoptée par le Congrès, ce que, pour ma part, j'appelle de tous mes vœux, il faudrait aussi s'occuper de la question des frais d'une semblable publication.

M. Dujardin-Beaumetz. — Messieurs, chaque pays civilisé a une statistique minérale et chaque Gouvernement a un bureau de statistique. Nous en avons un au ministère du commerce et un autre au ministère des travaux publics. Mais chaque pays a sa nomenclature spéciale et l'on n'est pas d'accord sur les termes mêmes dont on se sert. Ainsi, nous divisons en France les houillères suivant la nature du terrain ; on les distingue, dans d'autres pays, suivant la nature de la houille. Il en résulte que lorsque nous calculons la production minérale par des coefficients déterminés, nous nous trompons en ce qui concerne les autres pays.

Il importe donc non seulement de réunir des documents, mais aussi d'établir un accord préalable pour qu'on n'emploie dans ces documents que des termes identiques ayant la même signification et la même valeur.

M. Coxe dit qu'il existe aussi depuis quelque temps aux Etats-Unis une statistique minérale que l'on cherche à améliorer chaque année.

M. Witmeur. — Nous sommes en présence d'une proposition nettement formulée par M. Foster. Je ne

vois, quant à moi, aucun inconvénient à ce que le Congrès émette un vœu, qui sera transmis au Gouvernement français, en faveur de l'institution d'une statistique internationale minérale.

M. Haton de la Goupillière. — Je ne vois pas bien quelle serait la sanction de ce vœu, parce qu'il ne touche pas à la législation française et concerne plutôt les rapports des nations entre elles. Dans tous les cas ce sera un jalon de planté, et la question, ainsi rappelée à l'attention des divers Gouvernements, ne tombera peut-être pas dans l'eau. Je crois que le Congrès peut très bien émettre un vœu dans ce sens.

M. Mallard. — Quelle serait la rédaction de ce vœu ?

M. Foster. — Je l'ai indiquée dans la note dont je viens de vous donner lecture : instituer une statistique internationale minérale comprenant trois séries de chiffres portant :

1° Sur les employés du fond et du jour ;
2° Sur les accidents, le nombre des tués et blessés ;
3° Sur la production des mines.

M. le Président. — Je crois qu'il serait sage de formuler ce vœu dans la forme la plus concise possible.

M. Witmeur. — J'appuie la proposition de M. Foster.

Un membre. — Je demande qu'il soit spécifié dans le vœu que cette statistique s'appliquera aux mines et carrières.

M. Dujardin-Beaumetz insiste de nouveau sur la nécessité pour les divers gouvernements de s'entendre préalablement sur les termes techniques dont on se servira et sur la signification qu'on devra leur attribuer, no-

tamment sur les mots *tués* et *blessés*. Il signale à ce sujet la différence profonde qui existe entre les statistiques française et belge.

M. Syroczynski parle dans le même sens et dit que le bureau du Congrès pourrait présenter au Gouvernement français le vœu en question avec l'indication des catégories et des termes qu'il jugerait bon d'établir.

M. Haton de la Goupillière. — Je répondrai à M. Syroczynski que ce serait aller, suivant moi, un peu vite en besogne. Ces matières sont très délicates, compliquées et doivent être mûrement délibérées. Elles pourraient même faire l'objet d'un Congrès spécial. Il me semble que pour le moment le Congrès ne peut que signaler au Gouvernement l'utilité d'une statistique internationale minière en lui demandant de lui donner son concours pour la préparation d'un Congrès qui sera chargé de résoudre la question.

M. Coxe. — Nous pourrons soumettre la question au Congrès qui, selon toute vraisemblance, se réunira bientôt à New-York à l'occasion de notre prochaine Exposition universelle.

M. Mallard. — C'est une bien petite question pour un Congrès spécial. Elle est débattue en ce moment même par le Congrès des accidents du travail. Ce qui nous importe surtout, c'est de définir les quelques termes dont on se sert comme ceux de : ouvriers du fond et du jour, tués et blessés, carrières, mines, etc. On pourrait renvoyer l'examen et la solution de ces questions non pas à un Congrès spécial, mais au prochain Congrès international.

M. Witmeur. — Alors il y aurait à résoudre la question de la périodicité des Congrès.

M. Mallard. — On pourrait établir, en effet, la périodicité des Congrès des mines et de la métallurgie comme on a établi celle des Congrès de géologie. Nous pourrions, par exemple, nous réunir tous les trois ans et avoir un bureau permanent, mais c'est une question qui ne pourrait être discutée que dans une réunion plénière.

M. Haton de la Goupillière. — Comme résumé de toutes les observations qui viennent d'être échangées, je vous propose d'émettre le vœu qu'une statistique internationale minière soit instituée le plus tôt possible, et de renvoyer l'étude de cette question au plus prochain Congrès international des mines et de la métallurgie.

M. le Président. — Je mets aux voix la proposition de M. Haton de la Goupillière.

La proposition est adoptée.

M. le Président. — Je vous invite, Messieurs, à aller rejoindre nos collègues métallurgistes qui tiennent encore séance dans la salle voisine.

La séance est levée à 4 h. 1/2.

MÉTALLURGIE

Séance du mercredi 4 septembre 1889.

Présidence de M. GILLON, professeur à l'Université de Liège, vice-président.

La séance est ouverte à deux heures et demie.

M. le Président. — Messieurs, je dois à votre bonne grâce et à votre courtoisie l'honneur de présider cette séance.

Je vous en suis infiniment reconnaissant et je crois pouvoir compter sur votre bienveillant concours. (*Applaudissements.*)

J'ai l'honneur de vous informer que M. le chevalier Frédéric Stach, conseiller des Travaux publics d'Autriche, s'excuse par lettre de ne pouvoir prendre part aux travaux du Congrès.

Vous avez reçu la brochure contenant le rapport de MM. Bresson et Gruner sur les progrès récents de l'affinage et de la déphosphoration dans la fabrication des fers et des aciers. Ces messieurs ont touché tous les points délicats de cette importante question, laissant au Congrès la liberté de les discuter successivement. Le champ est vaste et beaucoup d'orateurs pourront y semer leur grain.

Je donne la parole à M. Bresson, qui a manifesté le désir de compléter son rapport par la lecture d'une petite note supplémentaire.

M. Bresson. — Messieurs, le Comité d'organisation de notre Congrès ayant bien voulu charger mon cama-

rade M. Gruner de vous présenter avec moi un rapport sur les progrès récents de l'affinage et de la déphosphoration, nous avons été conduits à diviser notre travail en deux parties. Je me suis occupé spécialement de l'affinage dans le convertisseur, tandis que M. Gruner, prenant pour lui la plus grosse part de la besogne, a traité toutes les questions se rapportant à l'emploi du four à réverbère avec ses formes si variées.

Ce rapport vous a été remis et ceux que cette question intéresse spécialement l'auront, sans doute, parcouru. Je n'aurai donc pour ma part que quelques mots à ajouter.

Me conformant, Messieurs, aux vœux du Comité, j'avais remis mon court manuscrit avant l'ouverture de l'Exposition et j'aurais pu craindre que les constatations faites au Champ de Mars modifiassent dans une certaine mesure les conclusions que j'avais présentées, surtout en ce qui concerne le procédé Thomas. Il n'en a rien été. Les indications que j'ai pu recueillir depuis cette époque sur la composition des fontes employées, sur les analyses et les propriétés physiques et mécaniques des métaux obtenus montrent que la voie suivie par les fabricants de métal Thomas est aujourd'hui tracée d'une manière à peu près invariable. Si, d'ailleurs, de nouveaux progrès ont encore été faits depuis lors, vous pourrez en être informés. J'ai eu, en effet, le plaisir de constater ici la présence de plusieurs ingénieurs appartenant à la région dans laquelle le procédé Thomas s'est surtout développé. Vous serez, je n'en doute pas, heureux de les entendre, car ils auront certainement des renseignements importants à ajouter à ceux que j'ai présentés sous une forme très générale et forcément abrégée.

Il est un autre point, Messieurs, que je n'ai fait vraiment qu'effleurer dans mon rapport et sur lequel vous

êtes en droit d'attendre une communication plus complète. Je parle ici des petits convertisseurs. Nous avons entendu beaucoup louer leur emploi. Nous avons vu à l'Exposition des moulages d'acier d'une exécution fort difficile obtenus par ce procédé ; mais nous n'avons pas encore de données précises sur le fonctionnement économique des appareils. J'entends par là les frais d'entretien, de soufflage, de déchet, etc. Nous espérons que quelques-uns d'entre vous pourront nous apporter des renseignements sur cette question pleine d'actualité.

M. le Président. — Je donne la parole à M. Gruner pour la lecture d'une note analogue complémentaire de son rapport.

M. Gruner. — Messieurs, si le Comité d'organisation m'a adjoint à M. Bresson pour introduire devant vous la grande question des progrès de l'affinage et de la déphosphoration, c'est certainement qu'il a voulu rendre un suprême hommage à celui dont j'ai le grand honneur de porter le nom et qui il y a onze ans traitait cette même question dans le discours d'ouverture du Congrès de l'Industrie minérale.

Je sens ce que ce précédent a de redoutable et je ne puis qu'invoquer votre bienveillance pour l'exposé bien incomplet que je pourrai vous présenter.

Quelques-uns d'entre vous ont peut-être lu le court rapport qui a été distribué. Puisque vous l'avez en mains, je me contenterai de le résumer brièvement.

Le mot *affinage* indique expulsion soit par scorification soit par gazéification d'éléments étrangers introduits dans la fonte pendant la période réductive. Mais ce mode de travail où l'on se hâte de défaire partiellement, à grand'peine, ce que l'on a fait à grands frais est-il donc un mal nécessaire ?

En 1878, plusieurs usines présentaient encore des produits obtenus par des traitements directs : le procédé Chenot se maintenait en Espagne ; le procédé Blair attirait depuis peu l'attention des métallurgistes qui l'avaient vu fonctionner en Amérique ; William Siemens poursuivait ses essais à Laudore.

Toutes ces méthodes semblent de plus en plus abandonnées : celles de Chenot et de Blair par suite de la rareté toujours plus grande du combustible végétal ; et celle de Siemens par suite du prix de revient trop élevé, conséquence et de la consommation des matières premières : combustibles et minerais, et de l'entretien coûteux des fours.

Si l'*ore process* primitif tel qu'il était pratiqué à Laudore n'est plus en usage, de tous ces essais il n'en reste pas moins, en Angleterre principalement ; mais aussi, dans différentes usines du Continent, en France et à l'étranger, une fabrication où le minerai entre en quantité très importante, mais le bain primitif est un poids considérable de fonte ; et c'est à la fois par affinage de la fonte et réduction du minerai que prend naissance le bain final.

Les qualités exceptionnelles obtenues par celles des usines qui ont employé exclusivement des fontes pures et des minerais de premier choix, sans adjonction de ferraille d'origine douteuse, semblent devoir assurer à cette formule de fabrication un grand avenir.

L'expérience a donc prouvé que la seule méthode rationnelle de fabrication, soit du fer, soit de l'acier, consiste dans la succession de deux opérations : *réduction* et *affinage ;* et l'*affinage* reste donc bien l'*opération centrale de la métallurgie du fer*.

Etant donné un minerai, tous les éléments fondamentaux ou secondaires subissent l'action réductive ; tous se retrouvent en plus ou moins grande proportion

dans la fonte. Le problème est donc double : empêcher le plus possible l'action réductive de se porter sur les éléments étrangers : c'est là le rôle de l'ingénieur de haut-fourneau ; enlever le plus complètement possible les éléments étrangers dont on n'a pas pu éviter la réduction : c'est le rôle du maître de forges.

Si l'on ne considère que cette question spéciale, on peut dire que dans ces dernières années les hauts-fourneaux ont fait peu de progrès saillants : leur production a augmenté dans des proportions absolument inattendues ; ils se sont prêtés à la fabrication économique d'alliages extra-riches en manganèse, en silicium, en chrome, en nickel, etc.

Comme *agents réducteurs*, ils ont fait de grands progrès ; comme *agents épurateurs*, ils en sont encore à produire des fontes qui sont ou sulfureuses ou phosphoreuses et qui souvent sont à la fois chargées des deux éléments, sans parler de tous les autres que l'analyse détermine difficilement et dont le rôle est pourtant presque toujours nuisible.

C'est donc à des opérations ultérieures qu'il a fallu continuer à demander la purification du métal.

Ce qui s'est fait avec la cornue Bessemer, M. Bresson l'a dit avec une grande netteté dans son rapport, mais ce n'est pas par là que la métallurgie a débuté : c'est par l'*affinage au bas foyer*.

Dans ce foyer restreint où étaient empilés pêle-mêle fonte et charbon et où s'insinuait un courant gazeux alternativement oxydant et réducteur, c'était de l'habileté de l'ouvrier que dépendait l'effet produit ; c'étaient des tours de mains successifs qui modifiaient l'étendue des zones oxydantes et réductrices et promènaient la loupe d'une zone à l'autre, selon que besoin était.

Un travail si délicat ne pouvait donner de bons produits qu'avec des ouvriers expérimentés, qui étaient

rares, et des matières premières d'une pureté toute spéciale.

Quand on eut séparé la fonte et le combustible et créé le four à puddler, on put déjà obtenir des produits marchands avec des matières premières plus impures; mais se proposer de réaliser l'affinage *complet* en une seule opération était un problème trop complexe et qui ne pouvait obtenir de solution dans le cas de fontes impures.

C'est là certainement un des résultats les plus remarquables et les plus récents que l'obtention de *fers fins en partant de fontes à la fois phosphoreuses et sulfureuses.*

Le succès a été obtenu par le *fractionnement des opérations.* Il fallait la création du laboratoire d'usine, l'introduction des méthodes scientifiques dans la halle de puddlage pour arriver à bien nettement définir les conditions de stabilité et des phosphates et des sulfates ou sulfures.

Ces études ont été longues et délicates ; on les poursuivait à la fois en Allemagne et en France; mais nous ne croyons pas nous tromper en disant que c'est dans la Loire que la solution la plus satisfaisante a été trouvée.

Je n'entre pas dans les détails ; je laisse aux inventeurs le soin de décrire beaucoup mieux que je ne pourrais le faire leurs méthodes ; qu'il me suffise de dire que c'est par la succession d'une fusion à l'air chaud dans un cubilot à garniture basique, en présence de laitiers extra-basiques, et d'un puddlage chaud ordinaire, qu'ont pu être obtenus pratiquement des fers qui tiennent lieu des meilleurs fers de Suède.

Cette *division du travail*, nécessaire pour la production du *fer fin*, ne l'est pas moins pour celle de l'*acier supérieur;* et le cubilot basique est l'auxiliaire néces-

saire aussi bien du four de fusion sur sole que du four à puddler, bien entendu quand on veut obtenir des *produits surfins*.

S'il ne s'agit que de *produits ordinaires* : rails, traverses, profilés divers, le four à sole acide suffit parfaitement.

Il a progressé depuis dix ans surtout par la construction des voûtes et des carneaux et plus encore par la bonne disposition des chambres dont on peut maintenant prolonger la durée et éviter l'encombrement ; mais sur sole acide l'acier produit contient toujours presque tout le soufre et tout le phosphore que renfermait la fonte ; et il est rare de trouver des fontes au coke assez pures pour donner des tôles résistant aux conditions sévères des cahiers des charges ; nous en dirons de même des essieux et des bandages.

Quant aux *fontes phosphoreuses*, il ne pouvait être question il y a dix ans de les appliquer à la fabrication de l'acier.

Nous touchons là au *progrès fondamental* réalisé depuis le dernier Congrès de Paris.

On vous l'a rappelé déjà, c'est à cette réunion qu'il fut donné lecture par M. Gilchrist du premier exposé de ses recherches ; et maintenant, après onze ans, il n'est presque aucune usine qui n'ait réalisé le travail en présence de *laitiers basiques*.

C'est avec intention que je m'attache avant tout au laitier et non pas au four.

Le *laitier basique*, c'est là le point fondamental. Qu'il soit employé sur sole de magnésie, de chaux, de dolomie ou d'oxyde de chrome, peu importe, quant au principe.

Avec un récipient ou un autre, on peut avoir un travail plus ou moins facile, plus ou moins économique ;

mais on a toujours le même résultat final, à condition, bien entendu, d'avoir une chaleur convenable.

Ici encore, je me contente d'indiquer, et je laisse à nos confrères qui ont l'un ou l'autre des types de fours le soin de venir vous faire part de leurs expériences et de leurs conclusions.

Le *manque d'homogénéité* des produits obtenus a préoccupé depuis longtemps le métallurgiste. S'il s'agit d'un *produit puddlé*, fer ou acier, c'est par l'adjonction d'une certaine proportion de fontes manganésifères, par l'emploi de scories de plus en plus liquides, que l'on est arrivé à obtenir des fers dépourvus à peu près de scories interposées.

S'il s'agit d'un *produit fondu*, le mal changeait de forme, mais n'en existait pas moins ; l'homogénéité chimique était obtenue par la suppression des scories interposées, la masse restait physiquement hétérogène par le fait de soufflures produites au milieu des blocs.

C'est encore dans les dernières années qu'a été élucidée cette question du métal *sans soufflures*.

Ce mot semblait, il y a cinq ans, encore bien prétentieux à tous ceux qui étaient appelés à travailler les moulages d'acier ou à utiliser les tôles d'acier.

En parcourant l'Exposition, vous verrez chez bien des fabricants de magnifiques moulages où les soufflures ne sont plus que bien rares, et la confiance que les constructeurs de chaudières et de ponts, que les ingénieurs du matériel roulant des chemins de fer accordent aux métaux fondus laminés prouve bien qu'il a été réalisé un grand progrès dans la voie de l'homogénéité.

Vous le voyez, Messieurs, les progrès de l'affinage ont été considérables dans ces dernières années, soit qu'il s'agisse de fer puddlé, soit qu'il s'agisse du métal fondu. Il peut, maintenant, être obtenu *pur* et *sain*

en partant même des matières premières les plus ordinaires et les plus chargées d'éléments étrangers.

Je me garde, cependant, d'aller jusqu'à dire que la pureté préalable des minerais et des fontes est devenue une quantité négligeable ; c'est toujours la meilleure garantie de la qualité du produit final ; mais je signale ce fait nouveau, c'est qu'actuellement on peut obtenir un produit supérieur avec toute espèce de minerais ou de fontes.

Dans une autre voie, d'autres de nos collègues vous le montreront, il a été fait d'immenses progrès : les alliages les plus divers ont été obtenus et utilisés avec succès.

Ils ont été étudiés dans la Loire et dans le Centre avec un esprit de méthode qui fait le plus grand honneur à nos collègues ; et c'est grâce à une judicieuse association de ces matières premières complètement purifiées, avec ces alliages nouveaux qu'ont été réalisées ces pièces merveilleuses que nos collègues nous présenteront et dont ils nous laisseront entrevoir le mode de fabrication.

M. le Président. — La parole est à M. Euverte, qui a demandé à présenter des observations sur la question de l'affinage.

M. Euverte. — Messieurs, nous avons tous lu avec l'attention qu'ils méritent les deux rapports de MM. Bresson et Gruner que ces Messieurs viennent de compléter d'une façon si intéressante.

J'aurai peut-être à faire ultérieurement, sur les dernières conclusions de M. Gruner, quelques réserves ; mais, pour le moment, je ne me préoccuperai de traiter que la question de l'*ore process*.

Dans le mémoire de M. Gruner, nous lisons les lignes suivantes :

« Sur la sole acide ou basique du four Siemens, on a cherché à produire l'acier non seulement par fusion légèrement affinante d'un mélange d'une quantité considérable de ferraille avec une faible proportion de fonte, mais on a voulu aller plus loin et arriver à transformer directement en acier de la fonte mélangée avec une proportion de plus en plus faible de ferrailles.

« Pour y arriver, il fallait introduire un élément oxydant dans le bain sous forme de minerai en blocs ou de briquettes de battitures.

« Ce procédé (*ore process*) a été surtout étudié en Angleterre.

« Pendant bien des années, les essais poursuivis avec persévérance, mais sans détermination rationnelle des conditions de l'opération, n'ont donné que des résultats médiocres et onéreux.

« Depuis qu'on a compris que pour ce traitement il ne fallait pas chercher à employer toutes les fontes, mais qu'il fallait prendre pour point de départ des fontes peu siliceuses relativement froides ; depuis qu'on a substitué aux parois acides les parois basiques, on est arrivé à des résultats réellement industriels, aussi bien en Angleterre qu'en Russie et en Pologne. »

M. Gruner a pris soin de dire qu'il faisait un simple exposé et qu'il laissait aux membres du Congrès le soin de discuter sur ce point. Il est nécessaire, en effet, qu'il soit élucidé.

Il est bien vrai que c'est en Angleterre que le procédé dit *ore process* a été tout d'abord étudié et que c'est dans ce pays que l'on a obtenu un succès complet de son emploi. Mais il n'y a pas qu'en Angleterre que l'on fait de l'*ore process*.

En France, il existe une usine qui fait de l'*ore process* avec un succès tout à fait remarquable, et comme cette question est intéressante, que beaucoup d'entre nous peuvent avoir à résoudre le même problème, il m'a paru bon d'appeler votre attention sur cette usine.

Nous allons, si vous le voulez bien, nous rendre au Champ de Mars et nous arrêter devant l'Exposition qu'ont organisée avec tant de soin et de succès les industriels de la Loire. (*Applaudissements.*)

Je suis heureux, Messieurs, de vos applaudissements, car j'ai eu l'honneur d'être le collaborateur de tous ces vaillants industriels, et je crois pouvoir déclarer qu'après tout ce qu'ils ont fait, l'Exposition de 1889 est le couronnement de leurs travaux et qu'on peut dire sans chauvinisme qu'on est fier d'être Français quand on contemple l'Exposition de la Loire. (*Nouveaux applaudissements.*)

En quittant cette Exposition, nous prenons à droite et dans un petit coin nous trouvons, à côté de la belle exposition de Châtillon-Commentry, une exposition des plus modestes n'ayant pas deux mètres de largeur, celle de la Société Pinat et Cie, d'Allevard (Isère). Au point de vue qui nous occupe en ce moment, elle est particulièrement intéressante, attendu que l'on pratique l'*ore process* à l'usine d'Allevard, et voici comment on y a été amené et comment on opère.

Depuis 1836 ou 1838, j'ai le bonheur ou le malheur, comme vous voudrez, car cela ne nous rajeunit ni l'un ni l'autre, d'avoir été en relations constantes avec M. Pinat; j'ai été le témoin de toutes ses tribulations et je suis, par suite, en mesure de vous dire ce qui s'est passé à Allevard au point de vue spécial de l'*ore process.*

Je passe rapidement sur l'historique de l'usine parce que les dix minutes qui me sont accordées seraient bien

vite écoulées si je ne m'en tenais exclusivement au seul point que je veux traiter.

A Allevard, vous le savez, on produit de la fonte et vous savez également que le minerai que l'on y emploie contient une certaine dose de soufre. Pour produire une fonte exempte de soufre, il faut une haute température. A cette haute température, comme le minerai d'Allevard contient, en même temps, de la silice en quantité considérable, on obtient des fontes siliceuses. Le problème à résoudre était donc de faire de l'acier au four Martin avec des fontes siliceuses et il se compliquait encore de cette considération que l'on ne pouvait faire usage que de matières premières provenant d'Allevard, étant donnée sa situation géographique.

Or, on sait que dans un four Martin les fontes siliceuses ne peuvent entrer que pour 25 p. °/₀ dans la charge et qu'elles exigent par conséquent pour être traitées 75 p. °/₀ de riblons, scraps, etc. Mais il était impossible de trouver dans l'usine d'Allevard une telle quantité de déchets. Il fallait donc aviser autrement.

Les Messieurs Pinat ont alors abordé carrément le traitement par le minerai. Ils se sont dit nous résoudrons le problème de la manière suivante : nous mettrons le peu de riblons dont nous disposons, puis nous y ajouterons du minerai. C'était hasardeux. Ils ont pourtant réussi de la manière la plus heureuse.

On a construit un four Siemens avec sole acide et dans l'intention de faire de l'*ore process ;* mais, toutefois, en prenant la précaution d'introduire dans ses parois des quantités considérables d'eau.

On ne manque pas d'eau, du reste, à Allevard : on en a des quantités énormes et de très froide qui descend des montagnes. On en a attribué 3 kilogrammes à chaque centimètre carré de surface ; et avec une sole

refroidie par de tels torrents d'eau on a obtenu tel abaissement de température que l'on a voulu. Dans ces conditions, voici comment les choses se passent : on introduit dans le four une quantité de minerai qui forme à peu près le cinquième de ce qu'il devra en contenir en totalité.

Si vous admettez une coulée de 8 à 10.000 kilogrammes, ce sera 1.600 à 2.000 kilogrammes de minerai à mettre sur la sole. On y ajoute la fonte et les riblons dont on dispose et on laisse le tout fondre peu à peu. Au fur et à mesure de la fusion, l'affinage par oxydation se fait petit à petit.Au bout de 8 à 9 heures, le bain est à peu près complètement désoxydé et la fonte affinée. Quand on est arrivé à cet état, quel métal peut-on avoir ? On ne le sait pas très bien, car au four Martin on ne sait pas toujours ce que l'on a. A Allevard on fait en général du métal dur. Pour faire du métal doux on ajoute du spiegel à 20 p. °/₀ de manganèse et on a de l'acier à 0,7 ou 0,8 de manganèse. Ce qu'il y a de plus surprenant dans cette opération, c'est que sans faire aucune addition de silicium et en employant seulement des fontes à 1 1/2, à 2 de silicium, on a encore des aciers à 0,1 de silicium. Je ne m'explique pas bien ce phénomène, attendu qu'ordinairement au four Martin, quand on additionne de 250 kilogrammes de riblons une charge de 250 kilogrammes de fonte à 2 p. °/₀ de silicium, il ne reste plus du tout de silicium dans l'acier. M. Picot pourrait peut-être nous donner l'explication que je cherche vainement ?

Il reste donc à peu près 0,1 de silicium après le traitement, mais passons.

Lorsque le métal est préparé, on le coule en lingots et ces lingots sont presque toujours sans soufflures. C'est là un fait très remarquable et que je vous signale

particulièrement. Il est jusqu'ici spécial à Allevard. N'est-il pas d'une importance capitale pour l'avenir d'obtenir des lingots sans soufflures dans les conditions où ils sont produits : dans un traitement par oxydation par le minerai ?

Ce lingot sans soufflures est ensuite laminé et transformé en produits de diverses natures.

Il y en a quelques-uns sur lesquels je me permettrai d'appeler votre attention.

Quand on fait de l'*ore process* on s'attend bien, en général, à n'avoir pas des produits très réguliers.

Je ne sache pas qu'à l'heure actuelle on ait obtenu par ce procédé des produits que l'on puisse garantir d'une résistance donnée.

On a obtenu de tels produits à Allevard et vous pourrez les voir à l'Exposition. Il y a des barres qui ont donné à l'essai 8 millimètres d'allongement élastique à la fibre extérieure. C'est énorme. Il y a dix ans on ne parlait que de 5 millimètres dans les cahiers des charges des Compagnies de chemins de fer.

Je ne m'étendrai pas davantage sur ce sujet. J'ai voulu vous signaler ce fait que le procédé de l'*ore process* avait réussi en France dans des conditions qui n'ont été réalisées nulle part ailleurs, et j'ajoute que ces conditions sont réalisables autre part qu'à Allevard. Il peut se trouver des usines placées dans la même situation qu'à Allevard et dans tous les cas le problème vaut bien la peine d'être étudié.

Parallèlement à ce qui se faisait à Allevard, des tentatives du même genre avaient lieu en Angleterre, chez Sir Lowthian Bell. M. Bell est un homme d'une grande compétence, un industriel très remarquable, qui ne craint pas à 75 ans d'entreprendre des choses nouvelles. Il s'est mis dans l'idée de faire de l'acier avec

de la fonte phosphoreuse en la traitant avec des minerais phosphoreux.

Il y a là une tentative très intéressante. Réussira-t-elle ? Je n'en sais rien et je pose à ce sujet une question que je ne m'engage pas à discuter. Cette question est la suivante :

Voilà M. Bell qui entreprend de traiter au four Martin des fontes contenant 2 1/2 p. °/₀ de phosphore. Je demande si le four Martin est bien un appareil de déphosphoration. J'ai des doutes à ce sujet et je voudrais bien que quelques personnes pussent nous fournir des renseignements sur ce point. Si cette question pouvait être éclaircie, il y aurait un grand progrès accompli et un service énorme rendu à tout le monde. C'est sur ce point que je me permets d'appeler la discussion.

M. le Président. — M. Rémaury a la parole.

M. Rémaury. — Je n'ai que deux mots à répondre à M. Euverte.

Il me semble d'abord que la question est mal posée ?

Qu'est-ce que c'est que l'*ore process ?* Cette dénomination a été inventée, je crois, par Siemens dans les essais qu'il a faits à Leicester ; alors qu'il se proposait de faire du four à réverbère un appareil réducteur permettant de tirer directement du minerai une certaine production.

Il me semble, si je ne me trompe, qu'à Allevard on a fait agir le minerai comme affineur et non pas comme élément devant apporter une augmentation de production. Ce n'est donc pas de l'*ore process* ; et quand j'ai dit que l'*ore process* n'existait pas en France.....

M. Euverte. — Voici comment la question est posée. Je relis le passage de la brochure de M. Gruner que

je vous ai fait connaître tout à l'heure : « Sur la sole acide ou basique du four Siemens on a cherché à produire l'acier non seulement par fusion légèrement affinante d'un mélange d'une quantité considérable de ferrailles avec une faible proportion de fonte, mais on a voulu aller plus loin et arriver à transformer directement en acier de la fonte mélangée avec une proportion de plus en plus faible de ferrailles.

« Pour y arriver, il fallait introduire un élément oxydant dans le bain sous forme de minerai en blocs ou en briquettes de battitures.

« Ce procédé (*ore process*) a été surtout étudié en Angleterre. »

C'est toujours de la fonte qu'il s'agit d'affiner.

M. Rémaury. — Mais en voulant obtenir une certaine réduction du minerai.

M. Euverte. — Si vous abordez cette question du déchet, je vous dirai qu'à Allevard il est de 6 p. °/₀. Demandez à tous ceux qui travaillent au four Martin, ils vous diront que le déchet est de 5 à 7 p. °/₀. On économise 4 p. °/₀. J'ai compris que vous vouliez dire qu'on avait essayé et qu'on n'avait pas réussi en Angleterre. J'ai voulu vous répondre qu'on avait essayé et qu'on avait réussi en France.

Un membre. — M. Bell fait aujourd'hui de l'*ore process.*

Plusieurs voix. — Non ! non !

M. Gautier. — M. Bell ne fait pas de l'*ore process.*

M. Rémaury. — L'observation de M. Gautier est fondée. M. Bell ne fait pas de l'*ore process.* Il se sert des matières qu'il a à sa disposition, c'est-à-dire de

fontes très phosphoreuses et très siliceuses et il a la prétention de les traiter avec l'aide de son propre minerai. Ce n'est donc pas de l'*ore process*. C'est le traitement de ses matières sans recourir à d'autres matières telles que celles que l'on emploie dans le procédé Thomas.

Du reste, je crois que le désir spécial de M. Euverte est d'avoir quelques renseignements sur ce qui se passe chez M. Bell. Je regrette que M. Pourcel ne soit pas présent, mais tout récemment il m'a envoyé des renseignements qui me permettront de vous éclairer suffisamment sur ce sujet.

Le problème posé à Clarence était celui-ci :

Produire du fer fondu (acier doux) en employant 2/3 au moins de fonte de Cleveland ;

Et 1/3 au plus de déchets de ferraille et d'acier.

La fonte contenant C de 3,20 à 3,60 ;
Si de 1,80 à 2,50 ;
Ph de 1,50 à 1,60 ;
S de 0,06 à 0,02 ;
Mn de 0,50 à 0,07.

Et les ferrailles et riblons de 0,30 à 0,05 de phosphore, en employant pour l'affinage du minerai de Cleveland choisi et grillé avec environ 1/4 de Campanil de Bilbao.

Tandis que dans les usines dont les fours sont à revêtement en chaux dolomitiques (produits pour fer-blanc (tin-plates) on est obligé de s'en tenir à la fonte Thomas peu siliceuse (Si de 0,2 à 0,4 et Mn, 2,00), c'est-à-dire assez manganésée pour exiger l'introduction de minerais manganésés spéciaux dans le lit de fusion, et de proscrire les minerais tenant plus de 3 à 4 p. °/₀ de silice pour l'affinage — ainsi qu'il est fait à Brymbo

où l'on n'emploie que des minerais phosphoreux non siliceux (Bottery mine) pour l'affinage.

Après examen approfondi de la question des garnissages, soit dolomitiques, soit magnésiens, soit neutres, après deux visites à Alais et à Fourchambault et après avoir obtenu de bons renseignements sur la marche au minerai à la Felguera (Asturies), MM. L... et H. Bell optèrent pour l'essai du revêtement en fer chromé.

Ici, je dois vous dire un mot du garnissage neutre et vous montrer en quoi il consiste.

Nous avons, M. Valton et moi, fait rédiger une petite brochure qui est à votre disposition et que je puis du reste vous lire, car elle est très courte :

« Les minéralogistes ont, depuis longtemps, classé le minerai de chrome, connu sous le nom de fer chromé, parmi les substances infusibles ; il ne semble pas, cependant, qu'on ait cherché à mettre à profit cette qualité réfractaire avant 1867, époque à laquelle un Anglais, du nom de Pochin, prit un brevet pour l'emploi du minerai de chrome dans les fours métallurgiques.

Neuf ans plus tard, en 1876, M. Audoin songea également à employer ce minerai comme matière réfractaire ; il indiqua dans un petit opuscule, en 1878, un moyen d'agglomération par les silicates d'alumine et autres, et présenta des produits qui ne répondirent pas à un usage industriel.

« Nous avons été les premiers à définir et à mettre à profit les caractères neutres de cette matière, en l'exposant à l'action corrosive des scories, soit acides, soit basiques, qui se forment dans les divers procédés de fabrication de l'acier ; il est parfaitement établi aujourd'hui, par une expérience de cinq années, que le fer chromé, tel que nous l'offre la nature, sans aucune préparation, résiste, non seulement à l'action de la silice

libre, aux plus hautes températures de nos foyers métallurgiques, mais aussi à celle des silicates, riches en silice, que l'on produit dans les fours à garniture siliceuse ou silico-argileuse, et, qu'en même temps, il n'est pas davantage attaqué, dans les mêmes conditions de température, par les bases énergiques, telles que la chaux, la magnésie ou la dolomie, ni par les scories basiques, riches en oxydes métalliques ou terreux.

« Ces remarquables propriétés justifient donc bien le titre de *neutres* que nous avons donné aux revêtements faits en minerai de chrome.

« Il restait à trouver le moyen de relier ces fragments de minerais, de forme généralement irrégulière, de les agglomérer ensemble, de manière à en obtenir un garnissage compact et solide. Après des tâtonnements nombreux, nous avons reconnu que le seul agglomérant qui ne fît rien perdre à ce minéral de ses caractères de neutralité et d'infusibilité était la chaux employée à très faible dose. Toute autre terre alcaline, la baryte, la strontiane, même la magnésie, atteindrait le même but, mais, comme de toutes ces substances la chaux est la moins chère et la plus répandue, c'est à elle que nous avons donné la préférence.

« Les avantages de l'emploi de cette matière pour le revêtement des fours et appareils métallurgiques et autres sont incontestables. Le minerai de chrome est, pour ainsi dire, infusible ; des fragments ont pu flotter pendant des heures sur un bain d'acier fondu sans que leurs angles fussent émoussés ; grâce à sa neutralité, il est indifférent à l'action des scories acides comme à celle des scories basiques et permet, en conséquence, de déterminer dans l'appareil celle des réactions qu'on désire ; il ne prend ni retrait ni allongement par la chaleur ; il ne se forme donc pas de crevasses, de gerçures dans les revêtements ; enfin, la matière conserve

toute sa valeur après l'emploi, et les débris de la démolition d'un four peuvent rentrer dans la construction d'un autre sans aucune dépréciation. »

Je reviens maintenant à ce qui se passe à Clarence.

La marche des fours peut être considérée comme très réussie au point de vue de la tenue et de la résistance des parties délicates (trou de coulée et pieds droits) et comme qualité des produits.

Faire de l'acier extra-doux ou fer fondu régulier avec des matières irrégulières et des mélanges variables au lieu de passer par une fonte de composition donnée comme la fonte Thomas, tel était le problème à résoudre à Clarence, ainsi qu'il se pose d'ailleurs en Meurthe-et-Moselle.

La charge courante est de :

10 tonnes de fonte;
3 — de ferraille;
2 — de scraps d'acier.

On charge sur la sole un peu plus d'une tonne de minerai et d'une tonne de castine, puis la fonte au-dessus, et entre les gueusets environ une tonne de castine.

On charge donc à froid près de 18 tonnes de matières.

La fusion complète prend 4 ou 5 heures au plus.

On écoule la scorie formée qui emporte plus de la moitié du phosphore.

On affine et on déphosphore par une addition de minerai avec ou sans castine, suivant le minerai employé.

La durée de l'opération est de 9 heures et demie à 10 heures.

L'addition de ferro-manganèse à 72 p. °/₀ dans la

poche de coulée ne dépasse pas 0,7 à 0,8 p. °/₀ de la quantité de métal entrée au four.

Depuis que les ouvriers ont été bien initiés aux détails de l'opération, on a des séries entières de produits dont la teneur en phosphore oscille de 0,02 à 0,04.

On doit admettre une certaine incorporation de chrome au métal ; il n'y en a jamais plus de 0,10 ; le garnissage une fois bien cimenté et durci résistant indéfiniment, ce chrome provient du fer chromé employé au bouchage avec du goudron.

Il faut attribuer à sa présence les résultats mécaniques exceptionnels du métal doux produit sur sole neutre : des allongements de 28 à 30 p. °/₀ mesurés sur 200 millimètres sont presque régulièrement alliés à des résistances de 43 à 45 kilog.

Le même fait a d'ailleurs été constaté à la Felguera par l'ingénieur en chef de la marine espagnole.

Les mêmes effets obtenus avec des matières différentes doivent être rapportés à la même cause.

Il est à remarquer que du moment que l'on peut recourir aux plus hautes températures sans craindre d'altérer l'enceinte assimilable à un véritable creuset de platine, on peut pousser la décarburation à son extrême limite pour extra-doux et faire d'ailleurs toutes les nuances demandées soit pour fers-blancs, soit pour tubes de chaudières ou de navires, soit pour double T depuis 0,05 de carbone jusqu'à 0,22 et au-delà. Le tout avec des matières premières absolument impropres au four basique.

Tous ces faits sont, du reste, confirmés avec des matières premières différentes à Blagny,
à Alexandrowsky,
à Fourchambault,
à Alais.

Je crois avoir répondu d'une façon suffisante à la question de M. Euverte. Les chiffres que j'ai donnés en ce qui concerne la résistance et l'allongement du métal sont très éloquents. Je suis prêt à fournir d'autres explications si on le désire.

M. Euverte. — La différence de résistance de 43 kilog. avec 28 p. °/₀ d'allongement est déjà très considérable. Maintenant, il faudrait savoir quelle est la durée de l'opération pour arriver à la déphosphoration complète.

M. Rémaury. — De 9 heures et demie à 10 heures, je l'ai dit.

M. Euverte. — Le résultat serait alors obtenu ?

M. Rémaury. — Nous en sommes absolument certains.

M. Euverte. — Jusqu'à présent, la déphosphoration sur sole était horriblement difficile et elle coûtait fort cher, parce que jusqu'ici, dans tous les essais qui ont été faits au four Martin, on avait dû allonger l'opération et la prolonger quelquefois jusqu'à 12 heures. Or, l'heure coûte cher au four Martin. On trouvait alors plus commode de déphosphorer dans un convertisseur et de verser ensuite au four Martin. Je crois que beaucoup d'industriels ont ainsi procédé. C'est pourquoi j'ai posé ma question. Vous me donnez une solution qui me satisfait beaucoup.

M. Rémaury. — Nous ne désespérons pas de diminuer encore la durée de l'opération. Nous avons déjà fait des essais dans ce sens au cubilot et nous avons obtenu de bons résultats. Seulement, c'est une opération en cours, et je vous la signale seulement pour répondre à cette préoccupation qu'il faudrait abréger la durée de l'opération.

Un membre. — Vous venez de dire que l'acier avait un millième de chrome. Sur 10 tonnes, cela fait 10 kilog. Il est impossible d'admettre que le bouchage donne ces 10 kilog. de chrome.

M. Rémaury. — Il faut admettre au moins 50 kilog. de minerai de chrome pour le bouchage. C'est un minerai très pulvérisé mélangé avec du goudron.

M. le Président. — Le minerai de chrome contient à peu près 27 à 30 p. °/₀ de métal.

M. Rémaury. — 45 p. °/₀. — Pour dire que c'est certainement la teneur en chrome qui donne les propriétés au métal, je ne puis absolument l'affirmer; mais MM. Valton et Pourcel le pensent du moins.

M. Gruner. — Un ingénieur qui se trouve dans la salle, et qui a assisté aux expériences que j'ai faites à Firminy, M. Boucher, pourra vous dire que dans nos essais à des températures très élevées et bien supérieures à celles du four Martin, au contact d'une quantité de combustible considérable, nous n'avons obtenu qu'une réduction insignifiante du fer chromé. J'ai donc la conviction que ce n'est pas au bouchage qu'on doit attribuer cette présence du chrome dans le métal.

M. le Président. — M. Rocour a la parole.

M. Rocour. — M. Euverte a paru présenter les essais faits en Angleterre en ce qui concerne l'*ore process* comme n'ayant pas produit grand'chose. Je ne partage en aucune façon son avis sur ce point. Je rappelle au contraire un fait que divers membres du Congrès ont pu constater comme moi : c'est que déjà en 1881, la grande Compagnie de Glasgow avait deux

usines ou l'on faisait de l'*ore process* ayant pour but, non pas la production du métal, mais l'affinage. Et nous avons tous pu voir que la charge des fontes était du même genre que celles que l'on met dans le Bessemer. Le roulement des hauts-fourneaux est toujours un roulement en fonte Bessemer. On ne fait pas de fontes froides en Angleterre. C'étaient donc des fontes Bessemer traitées avec des additions de manganèse, et il est bien certain que ces usines qui produisent 100.000 tonnes d'acier par an travaillaient avec ce procédé. Je crois que l'on peut appeler cela un succès industriel.

Il est vrai que depuis lors les mêmes usines ont peut-être obtenu d'autres succès en travaillant sur sole basique. Il y a déjà sept ou huit ans que le travail au four Martin marche parfaitement chez les Anglais. Je dirai même incidemment que le succès était plutôt connexe avec une question de garnissage du four. Chose extraordinaire, on aurait trouvé un sable que les Anglais venaient chercher, disait-on, en Belgique ; qu'ils transportaient en Angleterre et avec lequel ils garnissaient le fond des fours.

J'aborde maintenant la question de l'affinage au four Martin avec déphosphoration. Tous ceux qui ont suivi ces travaux savent parfaitemement que ce procédé a été établi par Bessemer lui-même et marche très bien, non pas avec des fontes phosphoreuses, mais avec des fontes contenant 3 p. °/₀ de phosphore.

Il marche encore à l'heure actuelle dans le Staffordshire, région par excellence des hauts-fourneaux produisant des fontes de cette nature, et leur traitement au four Martin donne des résultats très bons et très économiques.

Quant à dire qu'il faut employer ce procédé, c'est peut-être très joli au point de vue théorique, mais, je

me permets de le demander à M. Euverte lui-même, est-ce bien là la solution économique de la question ?

La métallurgie, suivant moi, est l'art de faire de l'argent avec tout ce qu'on possède, peu importe le procédé que l'on emploie. Si je trouve un procédé nouveau qui me donne des produits à meilleur marché, je l'adopte, sinon je me contente de l'ancien. (*Rires approbatifs.*)

On a dit : il faut une fonte spéciale. C'est inexact, on peut parfaitement travailler la fonte ordinaire au four Martin avec garnissage basique. Chacun a son garnissage particulier et il est certain que chacun réussit et que nos usines marchent.

M. Rémaury a beaucoup insisté sur la durée de la sole ; mais il est très facile de conserver les soles. Nous ne réparons pas les nôtres et jamais un four Martin ne périclite par sa sole.

On nous a parlé aussi des traitements des fontes phosphoreuses par des minerais phosphoreux. Dans le travail de M. Bell qui nous a été exposé, il y a peut-être le désir de faire quelque chose de rationnel. Dans tous les cas on ne fait pas quelque chose de nouveau. Il existe des usines en Angleterre qui travaillent la fonte phosphoreuse au moyen d'une addition de minerai phosphoreux. Ont-elles trouvé la formule rationnelle ? Je n'en sais rien. Maintenant pourquoi faire une fonte de ce genre ? C'est quelque chose que nous ne nous sommes jamais bien expliqué. Le Cleveland ne fait jamais que de la fonte grise et nous préférons faire de la fonte blanche qui nous coûte moins cher. Or, la fonte blanche ne peut pas se travailler à cause du soufre du Cleveland.

Les fontes en acier Thomas sont pour ainsi dire au même prix que les fontes du Cleveland, il n'y a qu'un schelling de différence et dans ces dernières il faut

mettre beaucoup de silicium pour faire apparaître le laitier basique qui emporte le soufre. Ce n'est donc pas une solution économique du problème.

En résumé, dans tout ce que l'on nous a exposé, je ne vois rien de nouveau. Il y a sept ou huit ans qu'on emploie en Angleterre le procédé de l'*ore process* et qu'on obtient d'excellents aciers basiques au four Martin.

Toute la question est de ne pas dépasser 20 p. °/₀ de silice dans la scorie et c'est ce qu'on a réalisé de différentes façons. *(Applaudissements.)*

M. Remaury. — Je n'ai que deux mots à répondre à M. Rocour.

Au point de vue économique, je laisse mes observations sous le patronage de M. Bell. Au point de vue de la fonte Thomas, je lui répondrai que ce n'est pas de la fonte blanche, mais de la truitée grise. Celle que vous faites vous-même, Monsieur Rocour, est truitée.

Maintenant vous avez parlé d'une usine qui met dans son four du minerai phosphoreux. Il est phosphoreux, je le veux bien, mais il n'est nullement siliceux, tandis que chez M. Bell il est très siliceux. Si vous en introduisiez de pareil dans vos fours ils ne résisteraient pas.

M. Bresson. — Je vous demande, Messieurs, la permission d'ajouter un mot à ce qui vient d'être dit sur la qualité de la fonte Thomas. On a discuté la question de savoir s'il convenait de prendre de la fonte blanche ou de la fonte grise du Cleveland. La solution de cette question se trouve dans ce qui se passe en Allemagne. Il existe en Autriche une usine, celle de Reschitza, qui emploie des fontes presque blanches, mais qui sont manganésées. On arrive ainsi à avoir des fontes contenant 2 ou 2 1/2 de phosphore et 2 p. °/₀ de manganèse. C'est

presque de la fonte blanche. Eh bien ! c'est l'usine qui réussit le mieux en Allemagne.

Je crois que l'on peut dire que la qualité de la fonte blanche dépend de sa teneur en manganèse. C'est là le secret. On cherche à éliminer le manganèse de la fonte, c'est un tort.

M. le Président. — La parole est à M. Lodin.

M. Lodin. — Messieurs, on n'a traité jusqu'à présent la question qu'au point de vue exclusivement pratique. Permettez-moi de vous donner quelques explications théoriques qui éclairciront, je le crois, la marche du procédé et le résultat de nombreuses analyses qui peuvent présenter un véritable intérêt.

Le procédé basique sur sole est pratiqué depuis 1879 ; la déphosphoration dans ces conditions est compatible avec l'emploi de revêtements de composition fort variée, neutre ou basique.

La dolomie ou la magnésie préalablement frittées, le fer chromé, ont permis d'obtenir de bons résultats ; on a même pu employer des soles faites simplement en calcaire concassé et fortement damé. Les revêtements siliceux ou chargés d'oxyde de fer sont les seuls qu'il soit indispensable d'exclure parce qu'ils donnent, avec les additions calcaires nécessaires à la bonne marche du procédé, des scories très fluides et très corrosives.

Au contraire, les soles basiques ou neutres, de composition d'ailleurs quelconque, tendent à se recharger par le dépôt à leur surface de scories très calcaires et très peu fusibles ; il faut les dégager pour les empêcher de monter outre mesure et non pas les réparer comme on le fait pour les soles siliceuses. Une corrosion de la sole indique l'insuffisance des additions calcaires faites

au cours des opérations ; cette insuffisance est nuisible au point de vue de la bonne épuration du métal et doit à tous égards être évitée.

Depuis 1879, un grand nombre d'usines ont mis en pratique le procédé d'affinage sur sole basique avec des succès divers. Les difficultés signalées dans l'application du procédé ont tenu au moins autant aux conditions matérielles d'installation qu'au procédé en lui-même. Il ne faut pas perdre de vue qu'il est indispensable, pour une bonne marche de l'affinage basique, de pouvoir obtenir dans le four des températures très élevées. D'une part, les scories très calcaires que l'on est amené à employer sont beaucoup moins fusibles que les scories du procédé acide ; d'autre part, le métal lui-même, privé de presque tout son silicium et d'une grande partie de son carbone dès le début de l'opération, doit, pour rester fluide, être tenu constamment à une température très élevée que dans l'ancien procédé on atteignait seulement pendant la période finale.

Il est donc indispensable, pour éviter les insuccès, de munir les fours basiques de régénérateurs relativement volumineux et de les alimenter au moyen de gazogènes capables d'assurer une production suffisamment active d'un gaz riche en éléments combustibles. Enfin il faut éviter de faire déboucher directement dans la voûte des régénérateurs les conduits qui relient ces chambres avec le four, il faut, au contraire, s'arranger de manière à laisser déposer les scories basiques entraînées avant que ces scories n'aient atteint les empilages de briques et cela dans des conditions telles que le décrassage puisse se faire sans difficulté.

La conduite de l'opération peut d'ailleurs comporter des variantes très nombreuses suivant les proportions de fontes et de riblons qu'on emploie, suivant la composition de ces matières et des additions diverses que

l'on peut faire; suivant enfin la compositon que l'on cherche à obtenir pour le produit final. Cette diversité rend l'étude théorique du procédé d'affinage sur sole basique beaucoup plus complexe que celle du procédé Thomas-Gilchrist appliqué d'ordinaire suivant une formule à peu près constante.

Aussi les publications sur ce sujet ont-elles été peu nombreuses; jusqu'ici on ne peut guère citer que celle de M. Harbord (Journal of the Iron and Steel institute. 1886, Tome II, p. 700). Les résultats obtenus par cet auteur ne sont pas absolument nets; nous croyons pouvoir les compléter utilement au moyen de séries d'analyses faites sur les produits d'opérations conduites d'une manière assez différente.

Nous devons faire remarquer d'abord que le travail sur sole basique peut se subdiviser en deux variantes principales suivant que l'on a recours ou non à des additions d'oxyde de fer.

Si on n'emploie pas de semblables additions, l'action oxydante, base de l'affinage, est exercée exclusivement par l'atmosphère du four; elle est naturellement moins active que lorsqu'on introduit du minerai dans le bain. Aussi cette formule de travail n'est-elle usitée d'ordinaire que dans les usines où l'on dispose d'une proportion de riblons relativement importante et où, par suite, l'affinage du bain peut être conduit rapidement; le travail au minerai convient au contraire au traitement de charges où la fonte prédomine.

Les études de M. Harbord ont porté sur des opérations faites sans additions de minerai, bien qu'on y employât une proportion de fonte relativement élevée.

Les résultats analytiques obtenus sont reproduits ci-contre :

ANALYSE DE M. HARBORD.

Première opération.

DÉSIGNATION	MÉTAL initial.	APRÈS FUSION	30m	1h	1h,30m	2h	2h,30	3h	3h,30	4h	4h,30	MÉTAL final.
Carbone	2,30	0,42	0,23	0,178	0,94	0,075	0,07	0,06	0,05	0,045	0,05	0,13
Silicium	0,87	0,06	0,07	0,07	0,05	0,04	0,045	0,05	0,045	0,025	0,01	traces.
Manganèse	0,96	0.08	0,06	0,088	0,062	0,064	0,06	0,085	0,065	0,08	0,051	0,51
Soufre	0,23	0,23	0,213	0.206	0,183	0,170	0,165	0,157	0,160	0,137	0,130	0,125
Phosphore	2,30	1,22	1,18	1,00	0,84	0.70	0,48	0,33	0,192	0,116	0,085	0,065
SCORIES CORRESPONDANTES												
SiO^2		22,90								17,20		
Fe^2O^3		1,17	1,03	1,85	1,90	1,23	1,75	2,20	1,40	2,31		
FeO		14,90	10,40	7,20	5,94	5,91	6,61	9,09	9,91	13,30		
Al^2O^3		14,20								12,20		
MnO		3,69								2,64		
CaO		28,00								33,60		
MgO		1,70								2,27		
PhO^5		12,50								16,19		

Deuxième opération.

DÉSIGNATION	MÉTAL initial.	1 apr. fusion	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	FIN
Carbone	2,30	1,76	1,68	1,39	1,26	0,81	0,51	0,40	0,22	0,09	0,075	0,075	0,075	0,07	0,14
Silicium	0,87	0,075	0,075	0,07	0,09	0,08	0,06	0,06	0,04	0,035	0,03	0,02	0,018	0,01	traces
Manganèse.....	0,96	0,10	0,10	0,115	0,09	0,10	0,08	0,09	0,075	0,085	0,10	0,11	0,125	0,12	0,37
Soufre.....	0,23	0,18	0,169	0,162	0,15	0,145	0,14	0,145	0,147	0,137	0,133	0,123	0,120	0,111	0,089
Phosphore	2,30	1,40	1,37	1,32	1,11	0,99	0,90	0,81	0,70	0,62	0,46	0,30	0,18	0,085	0,075
SCORIES CORRESPONDANTES															
	A B														
SiO^2	14,40	23,60												17,40	
Fe^2O^3.....	6,81 0,40	0,73	3,80	0,77	0,90	2,60	2,30	1,60	1,17	1,17	1,20			1,64	
FeO.....	44,20 21,50	8,07	6,75	7,28	6,21	6,35	7,38	4,77	5,31	4,10	4,10			4,53	
MnO.....	2,04	8,15												4,60	
Al^2O^3	6,80	7,00												7,50	
CaO.....	14,00	38,10												44,00	
MgO.....	0,84	1,28												2,80	
PhO^5.....	10,00	12,45												15,75	

Troisième opération.

DÉSIGNATION	MÉTAL initial.		1	2	3	4	5	6	PRODUIT final.
Carbone	1,6		0,05	0,05	0,045	traces	traces	traces	0,16
Silicium	0,37		0,03	0,018	traces	traces	traces	traces	traces
Manganèse	0,40		0.085	...	...	...	...	...	0,78
Soufre	0,488		0,408	0,340	0,290	0,264	0,240	0,220	0,200
Phosphore	3,56		0,07	0,068	0,048	0,04	0,035	0,033	0,038
SCORIES CORRESPONDANTES									
	A	B							
SiO^2	8,5		12,00				9,20		
Fe^2O^3	4,3	4,2	3,8	1,63	3,90	3,80	4,30		
FeO	63,09	52,47	43,11	19,40	18,45	20,16	23,60		
MnO	4,25		6,81	...	..	...	2,07		
Al^2O^3	5,10		4,90	..	...	..	4,10		
CaO	8,10		15,20	...	...	...	42,40		
MgO	0,63		0,85	...	...	...	3,00		
PhO^5	5,50		13,30	...	...	.	12,30		

La marche du travail ne paraît pas avoir été très régulière et il est assez difficile de tirer des conclusions précises des chiffres donnés par l'auteur. Ces chiffres sont en effet peu concordants ; sur trois opérations suivies par M. Harbord, il en est une (n° 3) qui a donné des résultats bien difficiles à expliquer. Enfin les indications fournies sur la conduite du travail sont réellement insuffisantes, nous essaierons néanmoins de résumer les résultats principaux obtenus par M. Harbord.

La charge de métal contenait en moyenne p. °/₀ :

	C	*Si*	*Mn*	*Ph*	*S.*
Opérations 1 et 2.....	2,3	0,87	0,96	2,30	0,237
— 3.....	1,6	0,37	0,40	3,56	0,488

On chargeait préalablement de la chaux vive, fraîchement calcinée, en quantité non indiquée ; on ne faisait pas de décrassage au cours de l'opération. La durée de celle-ci n'a pas été donnée par M. Harbord d'une manière précise ; elle paraît avoir varié de 8 à 10 heures.

Un fait constant a été l'élimination sensiblement complète du silicium et du manganèse au cours de la fusion de la charge ; la proportion de ces deux corps s'est toujours trouvée inférieure à 0,1 p. °/₀ dès la première prise d'essai effectuée immédiatement après fusion. C'est là un caractère général des opérations sur sole basique, quelle que soit la variante employée.

L'élimination du carbone et celle du phosphore se sont faites dans des conditions fort variables au cours des opérations étudiées par M. Harbord ; les proportions de ces métalloïdes, immédiatement après fusion, ont été :

	Carbone	*Phosphore*
Opération N° 1.....	0,42 p. °/₀	1,22 p. °/₀
— N° 2.....	1,76	1,40
— N° 3.....	0,05	0,07

L'étude des analyses de scories données par l'auteur n'explique pas ces variations.

On y voit bien que dans l'opération n° 3 la scorie ne tenait après fusion complète que 15,20 p. °/₀ de chaux avec une proportion anormale d'oxyde de fer (43,11 de protoxyde et 3,8 de peroxyde),ce qui fait présumer que la fusion avait été lente et imparfaite. C'est probablement à ces conditions spéciales qu'il faut attribuer l'affinage prématuré du bain. Mais les deux autres opérations présentent également des discordances.

Et, en somme, la seule conclusion à tirer des analyses de M. Harbord, en ce qui concerne l'élimination du carbone et du phosphore, est que cette élimination peut se faire simultanément quand l'opération est convenablement conduite. C'est une analogie avec le puddlage et une différence avec le travail au Bessemer basique.

La possibilité de réaliser une élimination simultanée du phosphore et du carbone ressort beaucoup plus nettement des chiffres suivants que nous empruntons au mode de travail d'une autre usine.

La charge avait été faite de la manière suivante :

1° 1.500 kilog. de calcaire avec 1.500 kilog. de minerai spathique grillé ;
2° 5.000 kilog. de fonte blanche ;
3° 1.000 kilog. de chutes d'acier ;

Après fusion complète des matières on a ajouté 200 kilog. de calcaire et 200 kilog. de minerai oxydulé ; cette première addition une fois bien fondue, on en a fait une deuxième de 100 kilog. de calcaire et de 100 kilog. de minerai oxydulé. On a laissé l'affinage se terminer sous l'action des scories déjà formées et sous celle du courant gazeux, puis on a opéré une addition manganésifère comme à l'ordinaire. L'opération a duré douze heures en tout.

Des prises d'essai effectuées au cours de cette opération ont donné les résultats suivants :

	Carbone	*Silicium*	*Phosphore*
Mélange initial.....	2,5 environ	0,98	1,76
Après fusion.....	1,40	0,046	0,525
Après la 1re addition.	0,40	0,028	0,216
Après la 2e addition..	0,13	0,028	0,039

Ces chiffres confirment ce que nous avons dit de la rapide élimination du silicium et semblent indiquer que les additions de minerai sont une ressource utile pour hâter l'élimination du phosphore sans trop accélérer celle du carbone.

En ce qui concerne le soufre, les analyses de M. Harbord indiquaient une marche continue de l'élimination, comme le montrent les analyses ci-dessous :

	Teneur initiale	*Teneur finale*
Opération N° 1.....	0,23 p. °/₀	0,125 p. °/₀
— N° 2.....	0,18 p. °/₀	0,089 p. °/₀
— N° 3.....	0,488 p. °/₀	0,200 p. °/₀

Ces résultats ne sont pas tout à fait satisfaisants, bien que, d'après l'auteur, le produit final des opérations 1 et 3 ne se soit pas montré rouverain ; il est vrai qu'il tenait de 0,51 p. °/₀ à 0,78 p. °/₀ de manganèse. M. Harbord n'a pas dosé le soufre dans les scories et n'a donné aucun éclaircissement sur le mode d'élimination de ce métalloïde.

Les analyses suivantes faites sur une opération exécutée à Saint-Chamond, à la fin de 1885, donnent des indications intéressantes, plus nettes que celles de M. Harbord ; la proportion de soufre y a été très faible d'un bout à l'autre de l'opération, mais la précision des analyses est assez grande pour qu'on puisse néanmoins se rendre compte de la marche des réactions.

La matière première était ici une fonte épurée par un procédé spécial ; elle était coulée à l'état liquide dans un four à sole magnésienne contenant à l'avance

800 kilog. de calcaire et 1.000 kilog. de minerai de fer hématite. On introduisait dans le bain 2.500 kilog. de débris et riblons et on laissait la fusion s'effectuer; celle-ci terminée, on faisait deux additions de minerai de 200 kilog. chacune. On réglait la conduite de l'opération au moyen de prises d'éprouvettes successives; après un décrassage partiel on laissait l'affinage se terminer lentement sans addition nouvelle et quand le grain d'une éprouvette indiquait une déphosphoration suffisamment avancée, on faisait une addition de ferro-manganèse et de ferro-silicium et on coulait immédiatement. L'opération durait 8 heures à 8 heures 1/2.

Dans l'opération à laquelle se rapportent les analyses ci-contre, l'addition se composait de 48 kilog. de ferro-manganèse à 85 p. °/₀ de manganèse et de 145 kilog. de ferro-silicium à 10 p. °/₀ de silicium et 20 p. °/₀ de manganèse.

I. — Après fusion de la charge.
II. — Après fusion d'une addition de 200 kilog. de minerai hématite.
III. — Après fusion d'une 2e addition identique.
IV. — Après un décrassage.
V. — Sans addition nouvelle, l'affinage se continuant lentement.
VI. — Sans addition nouvelle.
VII. — Id.
VIII. — Id.
IX. — Avant l'addition finale.
X. — Après cette addition finale.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Carbone	1.710	0.730	0.662	0.547	0.271	0.265	0.246	0.110	0.120	0.155
Silicium	0.047	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
Manganèse	0.048	0.048	0.084	0.084	0.110	0.108	0.096	0.073	0.048	0.277
Soufre	0.011	0.011	0.015	0.022	0.022	0.033	0.033	0.033	0.029	0.029
Phosphore	0.251	0.160	0.085	0.069	0.067	0.046	0.032	0.026	0.018	0.063
ANALYSES DES SCORIES										
Silice	20.90	18.80	15.70	14.90	13.90	13.95	13.65	12.30	12.00	16.25
Alumine	2.00	2.00	2.00	1.10	1.40	1.20	1.10	1.30	1.40	1.30
Peroxyde de fer	9.76	3.30	3.44	4.93	4.83	4.60	4.90	6.83	6.97	8.87
Protoxyde de fer	3.08	5.72	7.12	6.97	7.15	7.15	7.53	9.18	10.30	8.45
Protoxyde de manganèse	5.04	8.80	8.46	7.00	6.71	6.18	6.60	7.08	7.08	15.06
Chaux	40.71	40.60	40.77	42.00	43.90	47.04	46.78	45.24	44.41	34.88
Magnésie	5.51	5.32	5.94	6.33	6.05	5.18	4.76	4.79	4.75	4.72
Soufre	0.162	0.168	0.118	0.088	0.088	0.088	0.088	0.059	0.059	0.044
Acide phosphorique	12.89	15.26	15.23	15.50	14.98	14.10	13.44	12.66	12.04	9.40

L'étude des chiffres ci-dessus confirme ce que nous avons déjà dit de la rapidité de l'élimination du silicium et du manganèse et de la lenteur relative de celle du carbone.

Ainsi, après la deuxième addition de minerai, la proportion du phosphore est déjà tombée à 0,085, chiffre que l'on considère généralement comme assez réduit pour permettre l'utilisation du métal à une foule d'usages tels que la fabrication des rails.

Or, à ce moment, la proportion de carbone est encore de 0,66 p. °/₀. La rapidité relative de l'élimination du phosphore paraît tenir à la grande basicité de la scorie ; la chaux seule contenue dans celle-ci est en proportion plus que suffisante pour donner un phosphate quadribasique en même temps qu'un bisilicate de chaux. Or, d'après M. Hilgenstock (Stahl und Eisen, 1887, p. 557), ces deux composés seraient absolument stables en présence du fer aux températures les plus élevées ; on comprend qu'avec une proportion de chaux notablement supérieure à celle qui correspond à leur formation l'élimination du phosphore s'effectue sans qu'il y ait besoin d'exagérer l'action oxydante de la scorie et par suite la rapidité d'élimination du carbone.

Mais le résultat le plus intéressant que fournisse cette série d'analyses concerne l'élimination du soufre. La proportion de ce corps dans le bain métallique, bien que très faible à l'origine, diminue encore un peu pendant la période de fusion, pour augmenter ensuite jusqu'à la fin. C'est le contraire de ce qu'avait constaté M. Harbord et cependant on ne peut suspecter ici l'exactitude des analyses, car on constate une variation exactement inverse dans les teneurs en soufre du bain métallique et de la scorie. Il semble évident que la scorie restitue progressivement du soufre au métal à mesure que la proportion du carbone diminue dans

celui-ci et qu'elle se peroxyde elle-même. Il est regrettable que M. Harbord n'ait pas dosé le soufre dans les scories des opérations qu'il a étudiées de manière à se rendre compte du mécanisme de l'élimination de ce métalloïde dans les limites où il l'a constatée.

Dans le puddlage, il semble que l'expulsion du soufre contenu dans la fonte s'arrête à un certain moment comme s'il se produisait un phénomène d'équilibre entre l'action réductrice exercée par le carbone du bain et l'action oxydante développée soit par le milieu gazeux, soit par les additions d'oxyde de fer, l'élimination du soufre, en présence à la fois d'un laitier basique et d'une action réductive énergique, au haut-fourneau par exemple, est un phénomène connu depuis longtemps.

D'un autre côté, il semble qu'une action oxydante très énergique, telle que celle qu'on doit développer pour obtenir la déphosphoration complète de la fonte, arrête à peu près complètement cette élimination. Il serait intéressant de constater ce qui se passe dans des conditions intermédiaires.

Pour cela on peut avoir recours au travail au cubilot basique, tel qu'il a été répandu par M. Rollet dans le bassin de la Loire. Ce travail comporte deux variantes, suivant qu'on introduit ou non du minerai de fer dans le lit de fusion. C'est au moyen de la première variante qu'avait été obtenu le métal raffiné qui a servi de point de départ à l'opération sur sole basique étudiée ci-dessus. La charge du cubilot était la suivante :

	Poids absolu	*Poids par tonne de métal.*	
Fonte.....	350 kilog.	960 kilog.	1.000 kilog.
Riblons d'acier.....	15	40	
Calcaire	55	150	
Spath fluor.....	18	50	
Coke	60	165	

Le vent était soufflé sous une pression de 55° d'eau

à une température de 400°; on passait 2 tonnes 5 de métal à l'heure dans un cubilot à revêtement basique, refroidi extérieurement. Les résultats donnés par l'analyse de la fonte et des produits divers de la coulée ont été les suivants :

	Carbone	*Silicium*	*Manganèse*	*Soufre*	*Phosphore*
Fonte chargée.....	2,75	0,933	0,265	0,249	0,945
Métal obtenu coulée A....	3,33	0,116	0,277	0,018	0,802
— coulée B....	4,07	0,186	0,310	0,011	0,776
— mélange des deux coulées après séjour dans un four à sole servant de réservoir.....	3,23	0,186	0,301	0,018	0,765

LAITIERS

	SiO^2	Al^2O^3	*MnO*	*FeO*	Fe^2O^3	*CoO*	*MgO*	*S*	PhO^5	*CaFl*
Coulée A.	18,30	1,15	2,57	0,35	Mant	57,95	1,02	1,909	0,787	14,80
Coulée B.	28,10	1,35	0,92	0,25	»	54,50	0.95	2,116	0.690	11.90

On voit qu'avec une allure aussi chaude du cubilot l'élimination du soufre est sensiblement complète et qu'en même temps la proportion de peroxyde de fer contenue dans la scorie est à peu près nulle. On constate en même temps une diminution considérable en ce qui concerne le silicium et sensible en ce qui concerne le phosphore.

M. Rollet a cherché à accentuer cette dernière réaction en ajoutant à la charge une certaine quantité de minerai de fer. Ainsi dans une opération qui ne différait guère de la précédente que par la réduction de la castine à 11,2 p. °/₀ et par l'addition de 5 p. °/₀ de minerai de Mokta (tenant 58 p. °/₀ Fe et 1,8 p. °/₀ Mn), on a constaté la réduction de teneur en phosphore de 0,07 à 0,018 en même temps que l'élimination presque complète du silicium et du peu de soufre que contenait la fonte.

Mais l'opération devient extrêmement difficile à conduire à cause du peu de fluidité des fontes exclusivement carburées et du danger constant d'arriver à

produire des coups ferreux dans le cubilot, si l'on exagère l'action oxydante du minerai. Aussi, ce mode de travail qui peut avoir des avantages quand on veut épurer d'une manière exceptionnelle des fontes déjà de qualité supérieure ne nous paraît-il pas pouvoir s'appliquer couramment au traitement des fontes communes.

Il est plus rationnel de diviser l'épuration des fontes ordinaires en deux phases successives présentant comme caractère commun l'emploi des scories basiques, mais l'une réductrice et destinée à opérer l'élimination du soufre ; l'autre, oxydante et destinée à opérer l'élimination du phosphore. La solution la plus radicale consisterait à procéder d'abord à une fusion au cubilot basique, opérée comme nous l'avons indiquée, puis à couler le métal liquide sur une sole basique où se farait l'élimination du phosphore.

Seulement, la fusion au cubilot basique, avec addition de spath fluor, entraîne des frais qui dans beaucoup de cas ne sont pas suffisamment compensés par la différence de prix entre les fontes blanches communes et les fontes obtenues en allure chaude et par suite désulfurées, telles qu'on les emploie dans le procédé.

Ce sont ces considérations économiques qui ont empêché d'employer couramment la formule de travail que nous venons d'indiquer ; mais au point du vue technique, cette formule donnait des résultats très satisfaisants. (*Vifs applaudissements.*)

M. le Président. — La parole est à M. Henry Howe.

M. Howe. — Le procédé Bessemer aux Etats-Unis est caractérisé aujourd'hui par une grande vitesse de marche et une grande production.

Avec deux convertisseurs on fait 170 charges par 24 heures et 3.636 charges par mois.

Avec deux convertisseurs d'une capacité de dix tonnes, on a fait 28.145 tonnes d'acier par mois, soit plus de cent charges par jour, et dans ce cas, huit lingots par charge.

On a fait sept charges de dix tonnes dans une heure et soixante et une charges de cinq tonnes chaque en huit heures, soit moins de huit minutes par charge.

Comment arrive-t-on à cette vitesse? C'est très simple.

Les opérations dans l'atelier Bessemer se poursuivent comme suit :

On fond la fonte ;
On la souffle dans le convertisseur ;
On coule l'acier dans la lingotière ;
On l'y laisse un peu refroidir ;

puis, on enlève les lingotières dont on arrache et éloigne ensuite les lingots ; et enfin, on replace des lingotières nouvelles.

Si on veut marcher pendant un mois entier à raison d'une charge en huit minutes, il faut s'arranger pour que chacune des quatre premières opérations se fasse facilement en un peu moins de huit minutes.

Il faut avoir quatre groupes d'ouvriers et chacun d'eux s'occupe spécialement d'un genre d'opération.

Il faut à chaque groupe d'ouvriers un chef habile et que les ouvriers soient adroits, aient de bons outils, des grues, des lingotières, de la fonte en quantité suffisante pour pouvoir accomplir leur partie de travail en moins de huit minutes.

Il n'y a pas à parler de la fusion. Avec cinq grands cubilots, dont quatre marchant ensemble, on arrive facilement à produire toute la fonte nécessaire.

Il faut que, tandis qu'une charge est soufflée dans un convertisseur, la charge suivante soit versée dans l'autre, de manière qu'aussitôt que l'un des convertisseurs s'abaisse l'autre monte et que la machine soufflante ne s'arrête pas.

Actuellement, il arrive que la machine soufflante marche presque pendant tout un poste.

Il faut que l'opération dans le Bessemer soit très courte. Dans ce but, il faut que l'on souffle avec des machines de grande puissance et surtout que les dimensions des convertisseurs soient très grandes afin qu'il y ait fort peu de projections par l'orifice du convertisseur.

Il faut enfin que la fonte ne contienne que très peu de silicium.

Et c'est là ce qui caractérise le procédé Bessemer aux Etats-Unis. Car s'il est vrai que dans quelques-unes de nos usines on traite des fontes à 2 p. °/₀ de silicium, dans celles où l'on marche très rapidement, il arrive que le silicium ne dépasse pas en moyenne 1,25 p. °/₀ et je crois que véritablement cette proportion est la plus convenable, étant données nos conditions.

J'ai noté la composition des fontes traitées dans cinq charges successives dans une même usine américaine.

Il est arrivé quelquefois que l'on a soufflé de la fonte ne contenant que 0,25 de silicium et 1 p. °/₀ de manganèse. Mais voici un artifice pour souffler des charges aussi peu siliceuses. Il faut les intercaler entre deux charges chaudes, de manière que la chaleur propre du convertisseur augmente la chaleur développée dans l'opération même.

Je considère, d'ailleurs, comme évident que notre manière de travailler permet de marcher avec de très faibles proportions de silicium, parce que les con-

vertisseurs perdent très peu de chaleur entre les opérations successives :

Et les avantages d'une faible proportion de silicium, c'est que la fonte est bon marché ; que la perte en fer est faible parce qu'il y en a davantage dans la fonte et qu'il faut moins en brûler pour scorifier ; que l'on ne consomme que peu d'air comprimé ; que la charge ne dure que peu de temps et que la production journalière est grande.

De la coulée et du démoulage, je n'ai rien à dire. Une grue de coulée, trois grues de lingots et une grue pour changer et réparer les poches de coulée suffisent.

Voici la composition de la fonte de cinq charges successives dans une usine américaine.

N° de la charge	*Carbone*	*Silicium*	*Soufre*	*Phosphore*	*Manganèse*
13	3,46	0,72	0,065	0,082	0,53
15	3,66	0,64	0,063	0,081	0,70
16	3,41	0,80	0,068	0,079	0,64
17	3,44	0,79	0,053	0,086	0,49
18	3,36	0,75	0,075	0,084	0,59

Si on marche assez rapidement pour faire trois charges à l'heure dans un convertisseur, on peut ajouter de 225 à 360 kilog. de riblons par charge de 10 tonnes. Si on fait cinq charges à l'heure, on peut aller même jusqu'à 450 ou 540 kilog. de riblons.

Par contre, si on ne fait qu'une charge et demie par heure, il faut qu'il y ait au moins 1,20 de silicium dans la fonte pour qu'elle puisse être traitée.

Consommation des matières dans le procédé Bessemer acide pendant l'année 1888, dans une usine américaine.

(Les chiffres ont été pris directement sur les livres de fabrication)

Fonte	900,8
Riblons	176
Spiegeleisen à 30 p. °/₀ de manganèse	64,4
	1.141,2

Déchet 12,32 p. °/₀.

Lingotières		14,5
Quartz		10
Argile		6,8
Sable argileux		13,6
Sable siliceux		9,5
Briques cassées		1,4
		41,3
Tuyères	0,102	
Nozzles	016	
Stoppen	053	
Calcaire pour cubilots		25,4
Coke pour cubilots		119,3
Charbon pour convertisseurs et poches de coulée		6,8
Charbon pour gazogènes		15,4
Charbon pour chaudières		140,2
Pétrole pour chaudières		94,87

N. B. — Les plus grandes productions ont été obtenues par MM. Forsylh et Walker, à Union ;
M. le Capitaine Bill-Jones, à Edgar Thomson ;
M. le colonel Scrauton, à Scrauton ;
M. Potter, à South Chicago et à Homestead.

Du procédé direct je n'ai qu'un mot à dire. Je crois qu'un élément nouveau en a changé beaucoup les conditions aux Etats-Unis : c'est le gaz naturel qui sort en quantité considérable du sein de la terre.

Il ne peut pas s'appliquer au haut-fourneau, mais on l'emploie très facilement au procédé direct.

Actuellement, on fait ainsi de l'acier pour commerce à Pittsburg et je crois avec profit. (*Applaudissements.*)

M. Jordan. — Je désirerais avoir quelques indications sur l'emploi des grands fours Siemens avec grands régénérateurs.

M. Lencauchez. — En général, les gaz de gazogènes, ramenés à 0° et à 760, n'ont qu'une puissance calorifique de 900 à 1.150 calories au mètre cube.

Le gaz des hauts-fourneaux a une puissance calorifique moyenne sensiblement équivalente de 900 calories environ.

Le gaz des gazogènes usités souvent dans les usines à gaz d'éclairage du type Siemens alimentés au coke ne donnent qu'un gaz à 950 calories au plus.

Avec le même coke, le gazogène à barrage à portes fermant hermétiquement et à sole arrosée par un robinet régulateur donne du gaz à 1.210 calories à 0° et à 760. Ce gaz renferme en moyenne 16 à 17 trente-cinquièmes de gaz à l'eau, c'est-à-dire que sur 1 kilog. de carbone passant au gazogène, 400 à 450 grammes sont brûlés en Co par l'oxygène de la vapeur d'eau, en mettant en liberté un volume de H par volume de Co.

Ce gaz est donc plus riche que celui de certains gazogènes alimentés avec des houilles à 5 ou 6 p. °/₀ de cendres au maximum et à 30 et 32 p. °/₀ de matières volatiles donnant un excellent gaz de distillation.

L'infériorité relative du gaz produit avec un combustible de qualité supérieure doit être attribuée à des combustions anticipées dans les gazogènes, combustions qui donnent de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau résultant de réactions secondaires exercées par l'acide carbonique sur les hydrocarbures, telles que la suivante :

$$4\ Co^2 + C^4H^4 = 8\ Co + 4\ H$$

Il faut remarquer que cette réaction introduit dans le mélange 4 volumes d'azote par un volume d'hydrogène mis en liberté.

En fait, les vapeurs de goudron et les hydrocarbures C^2H^4 et C^4H^4 disparaissent souvent complètement dans le produit final, comme le font voir les analyses de M. L'hote que nous donnerons à la fin de cette note.

A la raffinerie C. Say, cinq gazogènes Siemens (type

allemand) avec des houilles de choix à 6 p. °/₀ de cendres et à 30 p. °/₀ de matières volatiles donnaient du gaz à 1.165 calories ; on les a remplacés par des gazogènes à coke, celui-ci tenant en moyenne 10 p. °/₀ de cendres et à 10 p. °/₀ d'eau et l'on a obtenu du gaz à 1.200 calories, tout en réalisant :

1° Une économie de 8 p. °/₀ en poids sur la consommation, en ce sens que l'on employait seulement 920 kilog. de coke à la place de 1.000 kilog. de houille de choix ;

2° Un avantage de 22 p. °/₀ au point de vue du rendement calorifique en tenant compte des puissances calorifiques de la houille et du coke employés.

Je ferai remarquer que pour obtenir ces résultats remarquables avec le coke en morceaux il n'est pas nécessaire de souffler les gazogènes ; mais si du coke en morceaux on passe aux grésillons et aux escarbilles, il est indispensable de tenir une pression de vent de 6 à 10 millimètres d'eau sous le cendrier pour assurer la circulation des gaz à travers la charge qui a une épaisseur de $1^{m},250$ au moins. Enfin, si des grésillons de coke on arrive à ceux de houille maigre à 12 p. °/₀ de matières volatiles, la pression du vent doit être portée à 30 à 40 millimètres d'eau. Quand les houilles maigres tombent au-dessous de 10 p. °/₀ de matières volatiles, elles décrépitent, en général, tellement qu'on ne peut plus guère les employer qu'à l'état de mélange avec des houilles demi-grasses ou grasses en proportions variables suivant les circonstances.

Avec de semblables combustibles, les difficultés sont souvent considérables. C'est ainsi que certaines houilles maigres oxygénées du bassin du Nord à 8 p. °/₀ de matières volatiles, bien qu'agglomérées en petites briquettes au bois sec, arrivent sur la grille des gazogè-

nes sans brûler sensiblement, bien que mélangées à des houilles se comportant bien en pareille circonstance : chargées seules aux gazogènes, ces houilles se comportent tellement mal qu'en peu d'instants ceux-ci, quoique mis à l'origine en allure très chaude avec du coke, s'éteignent complètement quand ils ne renferment plus que les briquettes de cette houille maigre dont le brai distille seul sans que la houille brûle.

La marche la plus avantageuse que l'on peut obtenir avec ce système de gazogène est celle donnée par l'anthracite d'Angleterre ; dans ces conditions, en bonne marche moyenne, des prises prolongées pendant 30 minutes et réitérées d'heure en heure ont donné régulièrement des résultats comme ceux-ci pour le mètre cube de gaz ramené à 0° et à 760 : 1.337 calories, 1.590 calories, 1.384 calories, 1.447 calories, soit en moyenne 1.440 calories.

Avec des mélanges de houilles du Nord et du Pas-de-Calais à 12 d'une part, 16 à 18 p. °/₀ d'autre part de matières volatiles (1), nous avons obtenu à Anzin (Société d'Escaut et Meuse) des gaz d'un pouvoir calorifique moyen de 1.400 calories.

On voit donc par ce qui précède qu'en employant des gazogènes perfectionnés on peut avec les combustibles les plus maigres obtenir des gaz variant (au mètre cube à 0° et à 760) entre 1.200 et 1.400 calories en bonne moyenne.

Si l'on veut obtenir avec ces mêmes combustibles des gaz encore plus riches, il faut souffler les gazogènes avec un mélange d'air et de vapeur d'eau surchauffée

---

(1) A l'état de poussiers et de grésillons divers, tandis que l'anthracite anglais se présente sous forme de beau charbon criblé entre les mailles de 40 à 60 millimètres bien débarrassé de poussiers.

entre 300 et 400°; dans ce dernier cas, la quantité de carbone fixe brûlé par l'oxygène de la vapeur d'eau peut s'élever à 600 et même à 650 grammes par kilog. de carbone arrivant sur la grille, alors les gaz de coke sont en moyenne à 1.350 calories le mètre cube et ceux des houilles anthraciteuses et anthracites à 1.550 calories.

Dans la pratique il est impossible de dépasser cette limite sans avoir recours aux appareils spéciaux de fabrication de gaz à l'eau dérivant plus ou moins du type créé par M. Tessié du Motay en 1862.

Pour les houilles grasses et demi-grasses, la situation est toute différente; ces houilles ne peuvent être utilisées d'une manière réellement satisfaisante qu'avec le gazogène distillateur. En effet, ces houilles peuvent, en s'agglomérant, donner lieu à des engorgements et à des arrêts de fonctionnement; il faut donc d'abord les transformer en coke pour éviter cet inconvénient, puis transformer le coke produit en gaz à 1.200 calories, comme on l'a indiqué plus haut; le gaz sortant du gazogène est donc un mélange de gaz de distillation et de gaz Ebelmen ; son pouvoir calorifique varie entre 1.500 et 1.550 calories au mètre cube réduit à 0° et à 760, suivant la qualité de houille employée.

Si on souffle dans le gazogène de l'air et de la vapeur surchauffés à 350°, la richesse du gaz mixte peut atteindre 1.600 à 1.700 calories.

Est-il pratique et utile de produire un gaz plus riche encore ? Non, à notre avis, car avec du gaz d'un pouvoir calorifique de 1.400 à 1.500 calories on peut déjà fondre tous les métaux et liquéfier les matériaux réputés les plus réfractaires, pourvu que l'on emploie des récupérateurs de chaleur et des brûleurs convenablement disposés. Il est vrai que dans certains cas exceptionnels comme à la cristallerie de Baccarat on peut

vouloir obtenir avec de l'air froid et du gaz froid, *instantanément*, les températures les plus élevées qu'on puisse réaliser pratiquement telles que celles de la fusion du fer doux ; dans ce cas, la solution rationnelle du problème consiste à se servir du gaz de distillation (dit gaz d'éclairage), qui possède une puissance calorifique de 5.000 à 6.000 calories au mètre cube ramené à 0° et à 760.

Si ce gaz n'est guère utilisé aujourd'hui que dans les laboratoires, cela tient aux tarifs élevés des Compagnies gazières éclairant les villes ; l'élévation de ces tarifs fait croire aux industriels que le gaz de distillation ne peut être obtenu à bon marché. C'est une erreur, car le gaz brut pris au gazomètre ne coûte à Paris que six centimes environ le mètre cube ; les charges d'amortissement de la canalisation représentent dix centimes et celles résultant de l'octroi huit centimes environ ; les six centimes restants représentent le bénéfice à partager entre les actionnaires et la ville.

Pour comparer utilement le gaz de distillation avec les autres gaz combustibles, il ne faut pas perdre de vue qu'un mètre cube de ce gaz vaut quatre mètres cubes de gaz riches de gazogène et cinq à six mètres cubes de gaz dit Siemens.

Si l'on admet qu'une usine produise ce gaz dans un four à six cornues, qu'elle vende ou utilise son coke au même prix que la houille, que son goudron se place bien et que son eau ammoniacale lui soit payée comme aux usines à gaz, on voit que le gaz de distillation ne saurait lui coûter beaucoup plus cher aux mille calories utiles que le gaz de gazogène. Voici en effet le prix d'établissement d'un four pour la production du gaz de chauffage riche épuré par un simple lavage :

1° Un four à 6 cornues avec gazogène, récupérateur et barrillet.	15.000f
2° Un laveur épurateur.	1.000
3° Un gazomètre d'une capacité de 2 h. de marche, 200ms	3.000
4° Tuyaux et vannes	1.000
TOTAL.	20.000f

La production par 24 heures serait de 6 cornues × 6 charges × 150 kilog. = 5.400 kilog., soit en chiffres ronds 5 tonnes, représentant chacune 300 mètres cubes de gaz, ce qui fait 1.500 mètres cubes par jour. Ces 1.500 mètres cubes valent autant que 1.500 mètres cubes × 4 = 6.000 mètres cubes de gaz riche de gazogène et que 1.500 mètres cubes × 5 = 7.500 mètres cubes de gaz Siemens.

Il est vrai qu'un gazogène complet qui produirait ces derniers gaz ne coûterait que 6.000 francs, que sa main-d'œuvre et son entretien seraient réduits en proportion, le gaz de distillation serait donc grevé de 25 francs de frais par jour en plus que le gaz de gazogène, soit de :

$$\frac{25^f,00}{1500^{ms}} = 0^f,0166 \text{ par mètre cube (1).}$$

Mais il ne faut pas oublier que ce gaz peut, dans beaucoup de cas, donner des résultats que le gaz de gazogène ne saurait jamais produire.

On a cru, pendant un certain temps, qu'entre le gaz dit d'éclairage et le gaz des gazogènes Ebelmen on pouvait intercaler utilement un terme moyen qui serait

(1) Tandis que son équivalent en gaz Ebelmen ne le serait que de $\frac{0,02}{5} = 0^f,004$.

le gaz à l'eau. Ce gaz ne possède qu'une puissance calorifique de 2.710 calories au maximum et il présente de nombreux inconvénients. Les hygiénistes sont hostiles à son emploi à cause de sa teneur de 40 à 47 p. °/₀ de Co ; pour l'éclairage, sa flamme a le grave inconvénient de manquer par elle-même d'intensité lumineuse et si l'on veut lui en donner par l'intermédiaire de pièces solides portées à l'incandescence, il n'a à ce point de vue qu'une valeur relative de $\frac{2.710 \text{ calories}}{5.650 \text{ calories}}$, soit moins que moitié de celle du gaz de distillation (1).

Il faut ajouter que tandis que la fabrication du gaz d'éclairage donne lieu à la production de sous-produits (coke, goudron et eaux ammoniacales), dont il est relativement facile de trouver l'écoulement, celle du gaz à l'eau est d'ordinaire accompagnée d'un sous-produit unique, mais d'un emploi souvent peu facile, le gaz Ebelmen (dit Siemens en Allemagne). On en obtient 3 ou même 4 volumes pour un volume de gaz à l'eau ; le pouvoir calorifique par mètre cube (à 0° et 760 millimètres) étant de 1.210 calories pour le premier et de 2.710 pour le second, l'utilisation du combustible est sensiblement la même que dans nos gazogènes perfectionnés à injection d'eau. Mais l'utilisation du gaz pauvre est souvent difficile dans les usines qui ont besoin de gaz à pouvoir calorifique élevé ; on est amené alors à brûler le gaz Ebelmen dans des accumulateurs Cowper et à tripler ainsi la production de gaz à l'eau.

La solution est compliquée ; les installations nécessaires sont beaucoup plus dispendieuses que celles nécessitées par la production du gaz d'éclairage, l'utilisation

---

(1) Voir les dispositifs usités en pareil cas dans une communication au Congrès d'Alais. — *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale.* — P. 1.081 et Pl. 39 à 44.

nette du combustible s'abaisse à 65 ou 70 p. °/₀ tout au plus en tenant compte de la chaleur de vaporisation de l'eau employée et finalement un même pouvoir calorifique revient deux fois plus cher sous forme de gaz à l'eau que sous forme de gaz Ebelmen.

La fabrication du gaz à l'eau n'est rationnelle que dans les pays où les houilles à gaz sont rares et d'un prix élevé, comme certaines régions de l'Amérique ; en Europe elle ne paraît avoir aucune raison d'être, car les houilles riches en matières volatiles y sont assez abondantes pour que l'emploi du gaz de distillation soit toujours à préférer quand on a besoin d'un combustible gazeux à pouvoir calorifique élevé.

Nous devons faire remarquer à cette occasion qu'il y aurait un progrès considérable à réaliser dans l'utilisation des houilles soumises à la carbonisation en four. Le plus souvent les produits gazeux de la distillation de la houille sont simplement employés à chauffer les fours à coke ; les seuls progrès qu'on eût réalisés dans leur utilisation ont été la condensation du goudron et des eaux ammoniacales, opérée dans quelques usines, et l'emploi des flammes perdues pour chauffer des chaudières.

Il serait beaucoup plus rationnel de chauffer le four à coke avec du gaz de gazogène marchant avec les menus et grésillons produits dans la fabrication et d'utiliser les gaz de distillation pour le chauffage de fours devant atteindre des températures élevées. Par cette méthode, en groupant les fours à coke avec des hauts-fourneaux et des fours de fusion de l'acier sur sole, on arriverait à une production facile et économique du métal fondu.

Pour terminer, je crois utile de présenter quelques considérations sur les conditions dans lesquelles doit s'opérer la circulation du gaz dans les gazogènes. Elle

ne doit jamais être assurée par aspiration, car avec une dépression de 1 millimètre seulement il se produit déjà des rentrées d'air irrégulières et par suite des combustions anticipées faisant perdre au gaz 20 à 25 p. °/₀ de son pouvoir calorifique.

Les gazogènes doivent donc être soufflés, mais la pression intérieure ne peut dépasser 3 à 5 millimètres d'eau, à moins que ces appareils ne soient munis d'une enveloppe en tôle, à joints étanches. Sinon les fuites de gaz sont importantes et même dangereuses si les gazogènes sont placés dans un bâtiment fermé.

Le soufflage doit être réglé de façon que la pression reste sensiblement constante dans la conduite d'écoulement du gaz, sinon le fonctionnement des fours alimentés par cette conduite devient irrégulier et défectueux. Pour résoudre ce problème, j'ai imaginé un régulateur de pression, à tuyau de retour, qui assure d'une manière très satisfaisante la constance de la pression dans la conduite malgré les variations de résistance dépendant de l'épaisseur de la charge et de l'encrassement du gazogène, malgré aussi les variations de consommations des fours.

La pression à la sortie du gazogène est de 5 millimètres d'eau à Saint-Denis, dans l'usine de la Société industrielle des Métaux, pour 30 fours divers, reliés par 650 mètres de conduite à une batterie de 20 gazogènes ; cette pression a pu être maintenue constamment à 0,1 millimètre près en plus ou en moins depuis le mois de mai 1884, époque de l'installation des appareils.

Le chiffre de 2 millimètres d'eau a été adopté à Anzin (Société Escaut et Meuse) pour deux fours alimentés par cinq gazogènes ; on a adopté 5 millimètres à Sandviken (Suède) pour 28 fours alimentés par 8 gazogènes.

Enfin il faut remarquer que pour avoir une production bien régulière de gaz mixte (à l'air et à l'eau) sans dépasser la teneur de 3 p. °/₀ en acide carbonique, il faut que le gaz sorte du gazogène à une température comprise entre 750 et 850°; on arrive à assurer cette condition en alimentant d'eau le cendrier au moyen d'un robinet à aiguille et d'un réservoir à niveau constant avec flotteur de manière à ce que la quantité d'eau traversant le gazogène puisse être réglée exactement.

Avec ces précautions on peut arriver à obtenir régulièrement avec du coke du gaz à 1.200 calories par mètre cube sans variation de plus de 2 à 3 p. °/₀ ; ainsi que le prouve l'expérience acquise dans le fonctionnement de 44 de mes gazogènes depuis deux à six ans à Saint-Denis, Paris Ivry, Reims, Villers Saint-Sépulchre et Sérifontaine.

Tableau analytique de divers gaz de gazogènes et de générateurs de gaz combustibles de chauffage.

N° 1. — Gaz produit avec une houille de choix, demi-grasse, ou avec des mélanges à 28 p. °/₀ de matières volatiles dans des gazogènes Siemens, en aspiration légère de 1 millimètre d'eau environ.

N° 2. — Gaz des gazogènes de Saint-Gobain marchant avec des mélanges de houilles à gaz du Pas-de-Calais (qualité de choix). Gazogène du type Siemens courant.

N° 3. — Mêmes gazogènes et mêmes houilles de choix qu'au n° 1, mais le gaz étant en pression de 2 millimètres d'eau dans sa canalisation (tuyau allant au four).

N° 4. — Gaz de gazogènes marchant au coke n° 2 de Paris (Société des Métaux, Raffinerie C. Say, usine à gaz de Reims, etc.) Gazogènes soufflés, système Lencauchez.

N° 5.— Gaz obtenus avec des mélanges de houilles en poussier et grésillons. (Société Escaut et Meuse. — Gazogènes *mixtes* Lencauchez soufflés).

N° 6. — Gaz obtenu avec de l'anthracite d'Angleterre aux gazogènes soufflés de M. Lencauchez, même type qu'à Saint-Denis et à la Compagnie parisienne du gaz, mais soufflés avec de l'air à 300°.

N° 7. — Gaz de menus et fines grasses, demi-grasses et mélanges donnant du coke aux gazogènes distillateurs système Lencauchez.

N° 8. — Gaz de générateurs produisant exclusivement le gaz dit à l'eau, en brûlant le gaz Ebelmen.

N° 9. — Gaz de distillation des cornues, dit gaz d'éclairage et gaz des fours à coke dits à sous produits.

N. B. — On remarquera que le gaz n° 1 est moins riche que le gaz des hauts-fourneaux de quelques 40 à 50 calories et comme ce gaz chauffe encore assez bien un Martin-Siemens à acier de forge, il donne la preuve évidente que l'on devrait considérer les hauts-fourneaux comme des gazogènes.

DÉSIGNATIONS	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9
Co	21.92	23.30	21.46	21.76	25.80	21.30	22.76	46.50	6.25
H	6.40	6.34	5.83	10.83	6.88	18.80	11.53	43.25	20.00
C^2H^4	..... 28.32	2.20 31.80	3.27 30.56	1.10 35.07	3.85 37.14	4.10 44.70	5.13 42.42	1.15 92.50	58.00 95.00
C^6H^6	.....	.....	.....	1.38	0.57	0.50	2.10	1.20	9.50
Vapeurs de goudron	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.90	.....	1.25
O	0.87	0.00	0.52	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00
Az	67.23	63.03	66.37	61.36	62.41	53.00	64.16	4.00	3.50
Co^2	3.58 71.68	2.35 68.16	2.35 69.44	3.57 64.93	0.45 62.86	0.70 55.30	3.78 57.58	4.00 7.50	1.50 5.00
So^2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.03	0.04	traces
HS	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.04	0.06	idem
									100.00
Puissance calorifique du mètre cube à 0° et 760 m/m.	832 calor.	986 calor.	1081 calor.	1210 calor.	1362 calor.	1590 calor.	1895 calor.	2710 calor.	5650 calories
Calorique perdu par la gazéification du combustible.	35 p. °/o	32 p. °/o	30 p. °/o	18 p. °/o	15 p. °/o	12 p. °/o	10 p. °/o	30 p. °/o	15 p. °/o
Valeur comparative du prix de revient de mille calories.	2.00	1.75	1.65	1.38	1.30	1.25	1.00	1.91	1.85

M le Président. — M. de Gochter a la parole.

M. de Gochter. — Messieurs, je n'ai pas l'intention de faire devant vous une théorie du four Martin basique. Je veux simplement constater en quelques mots ce qui constitue pour moi la supériorité de l'allure des fours que l'on voit à l'étranger sur celle des fours communément employés en France.

Permettez-moi de vous donner lecture de la fin d'un petit travail que j'ai fait et qui est consacré à cette question :

Nous touchons ici aux questions très délicates d'allure du four et de durée du garnissage. L'une et l'autre intéressent directement le coût de l'entretien.

Allure du four. — La température nécessaire à la fusion déphosphorante est bien supérieure à celle de la marche acide. Sans chercher à le chiffrer, l'écart s'explique facilement par la nécessité de former et de maintenir dans le premier cas une scorie très fluide à base calcaire.

Les éléments siliceux du laboratoire, exposés tant au rayonnement du bain qu'au contact de la flamme, éprouvent une usure progressive dont la conduite du four peut atténuer les effets, mais qui limite fatalement la durée de la campagne du four.

Suivant les aciéries, le profil adopté pour le four, sa capacité, cette durée varie entre 100 et 200 opérations : elle est toujours inférieure à la campagne d'un four acide. Il y a là une cause d'infériorité à laquelle on a cherché à remédier par des voies très différentes.

Peut-être s'est-on trop préoccupé de l'influence du profil de voûte et de la disposition des carneaux d'air et de gaz. Nous avons été à même d'étudier la marche de

plusieurs aciéries, tant en France qu'à l'étranger, et sur des fours de types très différents. Sans vouloir contester l'avantage de certaines dispositions locales, nous avons dû constater que certaines voûtes sensiblement plates avaient fourni le même service que d'autres voûtes franchement convexes ; que toutes les conditions de production et de qualité égales, d'ailleurs, l'usure de certains fours à carneaux juxtaposés ne les mettaient pas en infériorité sur d'autres fours à carneaux superposés.

Devant ce fait incontestable de la durée limitée de la superstructure du four il semble que tout l'effort doive se concentrer sur la bonne utilisation de cette période. Répartis sur un tonnage maximum, les frais d'un entretien considérable et périodique, en augmentant la rapidité de production des fours, semblent la solution toute indiquée de cette difficulté économique.

Dans les usines qui à notre connaissance ont le mieux réalisé ce desideratum, les moyens employés et qui tous concourent au même but sont nombreux.

Ils constituent une propriété trop légitime pour que nous nous permettions de les examiner par le menu. En les résumant, les conditions suivantes nous paraissent donner les résultats les plus remarquables : elles concernent spécialement la marche en ferraille et fonte.

Pour les dimensions relatives du laboratoire :

Grand développement de la sole ; — largeur un peu inférieure à la moitié de la longueur ; — profondeur le plus uniforme possible, ou, en d'autres termes, réduction des pentes au minimum exigé pour l'évacuation complète du bain ; — profondeur maxima, c'est-à-dire à la coulée, égale au 1/12e environ de la longueur de la sole ; — hauteur de voûte au-dessus de la coulée variant du 1/5e au 1/4 de la largeur de la sole ; — section des carneaux ascendants de gaz équivalente à celle des carneaux d'air ; à l'entrée du laboratoire, étrangle-

ment de moitié des carneaux de gaz dans le cas où le tirage se fait par appel ; — capacité totale des récupérateurs 6 à 7 fois celle du laboratoire ; — abondance assurée de gaz : à cet effet, il ne faut pas dans un but d'économie mal entendu hésiter à faire desservir le four par le nombre de grilles largement nécessaire : une grille de secours placée sur la batterie de gazogène est indispensable lorsque la qualité du charbon employée est sujette à des variations.

La rapidité de chargement du four est également un des coefficients importants de la rapidité d'allure. Nous pensons que pour cette opération il y a économie toutes les fois que la chose est possible à utiliser un personnel nombreux. C'est ainsi que nous avons vu effectuer en 30 à 35 minutes des charges de 1.200 kilog.

Certaines usines ont adopté le système de chargement mécanique. Etabli d'une façon très ingénieuse et facilité par la nature des matières chargées, il constitue un perfectionnement remarquable, mais coûteux d'installation.

Le chauffage préalable d'une partie de la charge contribue certes à maintenir la température élevée du laboratoire ; mais les manipulations que ce réchauffage exige et l'augmentation de combustible qu'il nécessite d'un autre côté nous font douter un peu de l'économie finale.

Cet exposé des conditions d'allure rapide n'a pas la prétention d'être complet ; mais ce que nous avons dit nous semble présenter quelque intérêt, nos observations ayant trait à des fours qui effectuent en pleine déphosphoration et en marche régulière.

Il nous semble incontestable que, ainsi partiquée, l'utilisation de la campagne moyenne d'un four, c'est-à-dire six à sept semaines, réalise une économie de près d'un tiers sur les frais antérieurs d'entretien de la

superstructure d'un four. Quand nous aurons ajouté que bien souvent l'arrêt du four ne nécessite qu'une reconstruction partielle de cette région de l'appareil, nous pensons pouvoir conclure que réduite à ces proportions l'infériorité du nouveau procédé sur le chapitre d'entretien de voûte ne peut plus donner prise à des objections sérieuses.

Garnissage et entretien relatif du garnissage. — Pour réaliser sur sole le massage et l'épuration d'un lit de fusion composé de carbone de fer combiné en proportions variables au silicium, au phosphore, au soufre, il fallait assurer au bain le contact unique et permanent d'un garnissage inerte en présence des réactions multiples que le bain est appelé à subir.

L'emploi des matières dont le succès du procédé Thomas-Gilchrist avait prouvé l'heureuse adaptation à ce rôle semblait tout indiqué. Aussi les premiers essais se firent-ils avec la dolomie aujourd'hui encore demeurée. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — M. Gouvy a la parole.

M. Gouvy. — Je vais avoir l'honneur de vous donner quelques indications sur la fabrication à Resicza (Hongrie) des aciers sur sole basique. Ces données sont extraites d'une communication que j'ai faite en septembre 1888 au Congrès minier et métallurgique de Vienne et qui a paru dans la publication allemande bien connue *Sthal und Eisen*, mais n'a pas encore été publiée en français.

La qualité des aciers fabriqués aux usines de Resicza depuis des années est connue déjà par les produits qui figuraient à l'Exposition de 1878 à Paris; cependant

quoique les aciers obtenus au convertisseur Bessemer à Resicza soient d'une pureté extrême et ne contiennent que 0,07 p. °/₀ de phosphore et qu'il en soit de même de ceux obtenus aux fours Martin à sole acide, on a cru devoir chercher à perfectionner encore la qualité de façon à répondre aux exigences toujours croissantes de la clientèle et à être de plus en mesure de fabriquer les aciers extra-doux dits fers fondus.

Les premiers essais avec sole basique ont été faits en juin 1886 et ont parfaitement réussi, grâce aux matières premières dont on disposait.

Les anciens fours ont été employés tels quels, sauf que les régénérateurs qui avaient une hauteur de $3^m,50$ ont été portés à $4^m,25$ là où cela a été possible; leur largeur est de $1^m,50$ et leur longueur de $2^m,56$.

Il y a de chaque trois arrivées de gaz de 200 millimètres et deux arrivées d'air de 260 millimètres de large.

La sole est établie en dolomie et a une épaisseur de 300 millimètres; en vue de séparer complètement la sole de la voûte en briques dites de Dinas (98,5 p. °/₀ de quartz et 1,5 p. °/₀ de chaux) on avait tout d'abord essayé des minerais de fer chromé provenant des environs; mais cette matière ne présentant pas une résistance suffisante contre les scories basiques, on a été amené à la remplacer par de la magnésie.

Une disposition spéciale a été adoptée pour que la voûte ne repose pas directement sur le cordon de magnésie, mais sur des cornières fixées aux parois du four entre les portes; et du côté du trou de coulée les cornières supportent deux voûtes transversales sur lesquelles vient reposer la voûte proprement dite qui se compose ainsi de trois parties.

La dolomie est grillée dans un cubilot ordinaire à tirage du genre Herbertz, puis broyée au moyen d'un

appareil système Loizeau fourni par la maison Weidknecht, de Paris, qui rend inutile tout tamisage ultérieur et donne un grain bien homogène.

La dolomie est mélangée à 20 p. °/₀ de goudron, complètement débarrassée de son eau et pilonnée au moyen de pilons chauffés préalablement.

Voici quelques analyses des matières employées :

MAGNÉSIE		DOLOMIE			
		CRUE		GRILLÉE	
SiO^2	2,75	SiO^2	1,54	SiO^2	0,70
Fe^2O^3	4,30	$Al^2O^3 + FeO$	1,28	Al^2O^3.....	0,22
CaO.....	2,50	$CaO\ Co^2$....	52,50	Fe^2O^3. ...	2,58
MgO	42,58	$MgO\ Co^2$ ...	44.10	CaO.....	57,75
Co^2	47,87			MgO.....	37,82
				Co^2... .. .	0,93
	100,00		99,42		100,00

En ce qui concerne le fer chromé employé tout d'abord, il avait la composition suivante :

	a	*b*
Cr^2O^3	38,95	33,44
FeO.....	16,13	16,25
SiO^2.....	8,00	6,32
Al^2O^3.....	17,50	27,75
CaO.....	2,20	1,00
MgO.....	17,20	13,33
	99,98	98,09

Le premier échantillon contenait donc 29,34 p. °/₀ de chrome et 12,58 p. °/₀ de fer. Ces minerais provenaient d'Orsova sur les bords du Danube.

Quant à la magnésie, elle est exploitée à Nyustya dans la Hongrie septentrionale et la dolomie est tirée d'une carrière située à Armonis sur la ligne du chemin de fer de Temesvar à Orsova.

En ce qui concerne la marche des opérations, il faut observer que les matières à fondre sont chargées à froid toutes à la fois; les charges se composent généralement de :

3.500 kilog. de fonte grise et mixte.
4.000 » de scraps divers.
450 » de calcaire brut.

Après fusion, la scorie est éloignée par les portes, puis on procède aux prises d'essai comme d'usage.

La décarburation est activée soit par des minerais riches de Moravicza, soit par de petites briques d'oxydes de fer préparées à la main et comportant 25 p. °/₀ de CaO et 75 p. °/₀ de battitures des pilons et des laminoirs.

La coulée est faite après une addition convenable de ferro-manganèse à 80 p. °/₀.

La réparation de la sole ne dure guère plus de 20 minutes, tandis qu'avec le four acide il fallait souvent deux heures. Le chargement dure de 20 à 50 minutes suivant les matières.

La durée de la fusion et de l'affinage jusqu'à la coulée varie entre 6 et 7 heures au four basique, tandis qu'au four acide elle était de 10 à 12 tonnes. Avec un four neuf et des scraps facilement maniables, on peut arriver à faire couramment 4 charges en 24 heures.

Les opérations faites au moyen de minerai présentant un certain intérêt, j'indiquerai la composition de l'une d'elles qui a fourni de l'acier doux n° 7 (échelle de Tunner).

On a chargé au four :

5.000 kilog. de fonte grise d'Anina;
1.200 kilog. de minerai de Moravicza;
650 kilog. de calcaire;

puis ajouté 25 kilog. de ferro-manganèse.

Les analyses correspondantes des diverses matières ont donné les résultats suivants :

FONTE		MINERAI (Hématite rouge).		SCORIE		ACIER	
Si....	2,10	SiO^2....	8,76	SiO^2....	25,20	Si.....	0,0670
Mn...	2,74	Al^2O^3...	1,49	Al^2O^3...	2,13	Mn....	0,3600
Ph..	0,062	CaO	3,80	CaO	38,85	Ph	0,0195
C....	2,94	MgO. ...	0,75	MgO. ...	11,77	C.....	0,2310
Cu..	fortes traces	Ph	0,11	Ph.....	0,37		
S	0,015	S.....	traces	S.....	traces	Résistance : 35 et 34,5 kg. par m/m².	
		Cu.....	traces	Mn^2O^3..	11,95	Contraction : 71,3 à 66,6 p. °/₀.	
		Mn	0,57	Fe^2O^3...	11,45	Allongement : 25 à 21 p. °/₀	
		Fe.....	59,68	(Fe = 8,84 p. °/₀).			

Les scories des charges sans minerai diffèrent des précédentes surtout par les teneurs en silice (10 p. °/₀ environ) et en chaux (55 p. °/₀).

Les fours donnent en général un déchet de 10 p. °/₀ et la consommation de houille est de 650 kilog. par tonne de lingots ; ce chiffre n'est pas trop élevé si l'on considère que les matières étant chargées à froid il représente la consommation totale de combustible, tandis que certaines usines qui chauffent préalablement leurs scraps n'indiquent pas toujours la houille consommée aux fours à réverbère.

Les avantages de l'emploi des fours basiques à l'usine de Resicza se sont faits sentir non seulement au point de vue de la qualité des produits et de la possibilité de production de fer fondu extra-doux, mais aussi au point de vue du prix de revient qui s'est trouvé notablement réduit.

En effet, la consommation de charbon s'est trouvée réduite par suite de la plus grande rapidité des charges

ayant pour effet une puissance de production plus élevée, la sole résiste mieux que l'ancienne sole acide en pisé réfractaire ; enfin on peut employer des matières de moindre valeur sans nuire à la qualité de l'acier obtenu.

C'est ainsi, par exemple, que précédemment on utilisait pour acier à tôle de qualité et pour les bandages des fers bruts (Millbars) à raison de 1.500 kilog. par opération chargés à chaud, tandis que, actuellement, ce sont les bouts de rails qui sont les matières les plus chères qui soient employées. Comme addition, et tandis qu'avec la sole acide la teneur en phosphore de l'acier ne descendait guère au-dessous de 0,1 p. °/₀, elle ne dépasse plus jamais aujourd'hui le chiffre de 0,3 p. °/₀.

D'autre part, les scories dont l'analyse a été indiquée plus haut sont employées avec avantage au haut-fourneau pour fontes de moulage pour lesquelles la teneur en phosphore de ces scories qui atteint 0,5 à 0,6 p. °/₀ ne peut avoir qu'une utile influence.

Si l'on compare les prix de revient des aciers obtenus aux fours Martin de Resicza pendant les années 1884, 1885 et 1886, époque à laquelle on ne travaillait qu'avec quatre fours acides, et pour l'année 1887 pendant laquelle les quatre fours de l'usine fonctionnaient à sole basique, on trouve une différence en faveur de cette dernière méthode de 7 francs par tonne dans le combustible et de 19 francs dans la consommation ; par contre, les salaires ne se sont élevés que de 0 fr. 06 et les matériaux divers tels que calcaires, battitures, ferromanganèse de 1 fr. 04 par tonne de lingots.

Les aciers Martin fabriqués à Resicza sont employés pour les usages les plus variés.

L'acier extra-doux auquel on a donné le n° 8 (l'échelle de Tunner répondant aux numéros de 4 à 7 déjà fabri-

qués aux fours acides) donne une résistance à la rupture variant de 33,8 kilog. à 40,6 kilog. une contraction des 60,0 à 75,4 p. °/₀ et un allongement de 18,5 à 31 p. °/₀ (mesuré sur 200 millimètres). Ce métal est employé avec avantage pour tôles de chaudières et est comparable par ses propriétés aux fers de Suède ; les analyses indiquent des teneurs en carbone variant de 0,17 à 0,23 p. °/₀, en silicium de 0,01 à 0,04 p. °/₀, en phosphore de 0,011 à 0,014 p. °/₀ et en manganèse de 0,115 à 0,350 p. °/₀.

Ce fer fondu se soude parfaitement et peut être employé avec avantage pour la fabrication de certaines pièces de machines pour lesquelles on utilisait précédemment des paquets de fer puddlé ou des blooms.

Pour essieux on fabrique d'autre part des aciers sans soufflures (dureté n° 6) donnant une résistance à la rupture de 47 kilog., une contraction de 51 p. °/₀ et un allongement de 25 p. °/₀. Une analyse d'un tel acier a donné :

Carbone	0,259
Phosphore	0,016
Silicium.	0,130
Manganèse.	0,951

Il en est de même des bandages pour lesquels on se sert d'aciers de dureté n° 4 ou n° 3 qui donnent les résultats suivants pris comme exemples :

DÉSIGNATIONS	a	b	c	d	e
1° *Composition chimique :*					
Carbone	0.341	0.395	.....	.....	.....
Phosphore	0.016	0.019	.....	.....	.....
Silicium	0.140	0.074	.....	.....	.....
Manganèse	0.132	0.634	.....	.....	.....
2° *Essais à la traction :*					
Résistance à la rupture en kilog...	64.6	74.7	54.5	60.9	57.4
Contraction p. °/₀	46.8	24.5	62.1	58.8	53.0
Allongement p. °/₀	20.0	14.0	25.5	20.0	18.0

Je signalerai enfin, pour terminer, que les chiffres de consommation des fours Martin de Resicza, ainsi que leur production, se décomposent comme suit pour les années 1885, 1886 et 1887 :

A. — Consommation.

ANNÉE	FONTES DIVERSES	BOUTS DE RAILS SCRAPS de qualité.	MILLBARS	MINERAIS	SCRAPS de mauvaise qualité.
1885	2.106	5.0'6	1.173	—	766
1886	1.797	3.252	785	—	104
1887	5.225	5.721	6	44	1.923

B. — Production.

ANNÉE	SUR SOLE ACIDE		MOULAGES DIVERS	SUR SOLE BASIQUE	TOTAL (TONNES)
	1re qualité.	2e qualité.			
1885	2.292	5.939	73	—	8.304
1886	1.233	2.203	63	1.740	5.239
1887	—	—	56	10.891	19.947

Et l'on voit par là que non seulement la production s'est accru notablement, mais encore que la consommation des débris de mauvaise qualité a été :

En 1885	dans la proportion	de	9 p. °/₀.
En 1886	—	de	2 —
En 1887	—	de	18 —

Les matériaux d'addition tels que le ferro-manganèse et le ferro-silicium ne sont pas compris dans les chiffres de consommation ci-dessus qui indiquent l'économie obtenue à Resicza par l'adoption judicieuse des fours à sole basique.

M. le Président. — M. Garnier a la parole.

M. Garnier signale à ses collègues l'exposition de ferro-nickel qui se trouve à l'Esplanade des Invalides, entre les bâtiments affectés à l'Exposition du Ministre de la marine et des colonies et le Panorama de Tout Paris.

Il ne demande pas la parole aujourd'hui, mais il désirerait, dans une séance ultérieure, dire sur la fabrication de cet alliage ce qu'il n'a pu faire connaître jusqu'à présent.

M. le Président. — Cela viendra quand nous discuterons les alliages.

Maintenant, Messieurs, permettez-moi de vous dire quelques mots d'une question qui n'a pas encore été touchée jusqu'ici.

Le travail au four Martin-Siemens a presque exclusivement occupé la séance et vous avez entendu à son sujet des communications très intéressantes. Il y a en effet peu de choses à dire en ce qui concerne le procédé Thomas-Gilchrist. Cependant on pratique dans quelques usines un traitement des scories phosphoreuses et ba-

siques qui présente un certain intérêt et que je vous demande la permission d'exposer.

Lorsque l'on ne fait qu'un tout des scories du convertisseur basique, on obtient des matières qui d'une part ne sont pas très riches en acide phosphorique et qui d'autre part renferment une certaine quantité d'oxyde de fer sans utilité.

On a cherché à fractionner la scorie en deux parties, l'une plus riche en acide phosphorique et plus efficace par conséquent pour ses emplois dans l'agriculture, et l'autre plus riche en oxyde de fer et qui peut être passée au haut-fourneau pour fonte Thomas.

La pratique de ce procédé consiste en ceci :

On ne charge d'abord dans la cornue que les deux tiers de la chaux totale nécessaire à l'opération ; celle-ci marche dans les conditions ordinaires. Or, on a constaté que pendant le sursoufflage les trois quarts du phosphore sont oxydés et expulsés dans la scorie pendant les deux premiers tiers environ de la durée du sursoufflage, alors que pendant cette période il ne se brûle presque pas de fer. Ce n'est que pendant le dernier tiers du sursoufflage que le fer brûle sensiblement en même temps que ce qui reste de phosphore.

Ces faits étant établis, si l'on fait écouler la scorie du convertisseur après les deux premiers tiers du sursoufflage, on obtiendra une scorie riche en acide phosphorique, ne contenant presque pas de fer et dans laquelle les trois quarts environ du phosphore seront fixés sur les deux tiers de la chaux. Cette scorie pourra contenir ainsi de 24 à 25 p. °/₀ d'acide phosphorique.

On charge ensuite dans la cornue le troisième tiers de la chaux nécessaire et l'on termine le sursoufflage. Dans ce dernier lot de chaux se concentre ce qui reste de phosphore dans l'acier et l'on obtient une scorie à 8 p. °/₀

environ d'acide phosphorique, mais qui renferme de 20 à 30 p. °/₀ d'oxyde de fer. Cette scorie ferreuse est livrée aux hauts-fourneaux marchant en fonte Thomas.

Un double résultat est donc atteint : le phosphore est concentré dans une masse moindre et le fer brûlé se retrouve accumulé dans le tiers de la scorie.

Il est difficile de reconnaître à l'œil la fin de la déphosphoration. Cependant on signale le caractère suivant : pendant la déphosphoration il se dégage des fumées brunes qui forment un cône autour de la flamme. Lorsque le phosphore a disparu, la base du cône de fumée semble s'éclaircir et prendre une teinte bleuâtre. La prise des éprouvettes éloigne, au surplus, toute incertitude. *(Applaudissements.)*

Il me reste, Messieurs, à remercier les orateurs qui ont bien voulu prendre la parole dans cette séance.

La séance est levée à 5 heures moins un quart.

Séance du vendredi 6 septembre 1889.

La séance est ouverte à 2 heures 25 minutes, sous la présidence de M. Jordan, assisté de MM. Castillo, Gillon et Oriol, vice-présidents.

M. Gautier, l'un des secrétaires, donne lecture du procès-verbal de la séance du 4 septembre ; sa rédaction est adoptée.

M. Gustave Robert demande la parole, à l'occasion du procès-verbal, et donne lecture de la note suivante :

« Messieurs,

« Les considérations par lesquelles M. Bresson a terminé la première partie de son remarquable rapport sur l'affinage et la déphosphoration dans le convertisseur, le désir qu'il a exprimé au commencement de la dernière séance de recevoir quelques explications sur les petits appareils, me font espérer que vous entendrez avec quelque intérêt la communication que je viens vous faire sur ce sujet.

« Comme le dit très bien M. Bresson dans son rapport, l'affinage dans la cornue Bessemer se fait sans dépense *apparente* de combustible. Mais on doit consommer du charbon sous la chaudière pour produire le brassage ; de plus, les déchets gazeux, riches en oxyde de carbone, s'échappent dans l'atmosphère sans utilisation.

« Réduire autant que possible le travail nécessaire à l'affinage, utiliser la chaleur que les éléments combustibles contenus dans la fonte initiale peuvent donner, tel a été le but poursuivi et atteint par un choix judicieux de la forme à donner à la cornue, de la disposition des tuyères et de la méthode opératoire.

« Ceux d'entre vous, Messieurs, qui ont vu fonctionner les appareils installés à Stenay ont pu se rendre compte du peu de force motrice nécessaire. Tous ont été frappés de la température élevée à laquelle arrive le bain métallique, que l'on cherche à obtenir soit des fers fondus, soit des aciers pour outils, soit des moulages en acier ou en fer fondu.

« La manière dont l'affinage est conduit permet, en effet, par une épuration méthodique du métal, d'obtenir des produits de qualités très variées par le traitement des fontes de compositions très diverses.

« Mais, ainsi que M. Rocour l'a fort judicieusement observé dans notre dernière séance, le but du métallurgiste n'est pas seulement de faire, avec de la fonte, de l'acier ou du fer. Ce n'est là qu'une étape et c'est en argent qu'il faut finalement transformer la fonte. C'est ce côté de la question que je vais examiner devant vous.

« Avant-hier, M. Howe, avec une précision parfaite, nous a expliqué comment de l'autre côté de l'Atlantique on entend la division du travail et la répartition de la main-d'œuvre dans une aciérie Bessemer.

« Pour me placer dans des conditions comparables, je vais laisser de côté la fabrication des moulages et m'occuper seulement de la production des lingots, au moyen de nos convertisseurs d'une tonne. La durée d'une opération en garniture basique y est de 7 à 8 minutes ; en garniture acide, elle est de 10 à 12'.

« Une bonne organisation de la coulée et du démoulage permettra donc avec une petite machine de 50 chevaux fonctionnant régulièrement et 2 cornues en marche continue par alternance, de faire 4 coulées à l'heure et de produire annuellement 30.000 tonnes de lingots.

« Quel sera le capital à immobiliser pour atteindre

cette production ? — Machineries, cornues, cubilots en marche et de rechange, broyeurs, grues, etc., tout enfin, sauf le terrain et la halle couverte, n'exige pas une dépense supérieure à 75.000 francs.

« Le prix de revient du lingot ne sera donc chargé de ce chef que d'une somme insignifiante, même en comptant sur un amortissement très rapide du matériel.

« Avec une batterie de 4 cornues et une machine un peu plus forte, on doublerait la production. Le déchet de fabrication relevé avec soin pour les 6 derniers mois, non compris le déchet du cubilot, qui n'existe pas si on tire la fonte directement des hauts-fourneaux, varie, suivant les fontes traitées, entre 8 et 9 p. °/₀, s'il s'agit de fontes non phosphoreuses traitées en garniture acide ; entre 12 et 13 p. °/₀, s'il s'agit de fontes phosphoreuses traitées en garniture basique. Au début, je m'étais attaché à ne traiter en garniture acide que des fontes hématites de teneur élevée en silicium, mais peu à peu j'ai été amené à traiter des fontes de nature très variée. Exemple, en Amérique, à Springfield (Ohio), on a mis à ma disposition des fontes n° 3, de Colombus, contenant seulement :

Silicium.	1,45
Carbone.	2,00
Manganèse. . . .	0,75
Phosphore	0,04
Soufre	0,05

« Dès aujourd'hui, malgré la brièveté relative du temps depuis lequel les petites cornues fonctionnent industriellement, je crois qu'il serait difficile, si on veut tenir compte de tous les éléments d'un prix de revient, d'établir un écart sensible entre ceux d'une grande et d'une petite aciérie également bien dirigées. Mais il ne faut pas s'arrêter seulement à la fabrication du lingot.

Au-delà le parallèle entre les deux systèmes n'est plus possible. La division du travail est une loi à laquelle on essayera toujours en vain de se soustraire. Jamais les aciéries à grande production ne parviendront à fournir avec méthode et régularité la grande variété de qualités de fer et d'aciers que réclament les industries diverses et à faire face aux exigences toujours croissantes des cahiers des charges des grands consommateurs, tels que la Marine, les Compagnies de chemins de fer, les Travaux Publics.

« Ces exigences, souvent gênantes au début pour les producteurs, sont justifiées en ce sens qu'elles forcent à réaliser des progrès ; elles imposent à ceux qui travaillent le métal la nécessité de le bien connaître. Or, ils ne le connaîtront qu'en le produisant eux-mêmes, de manière à obtenir régulièrement les qualités qui leur sont imposées.

« Quel avantage n'auraient pas, par exemple, les usines qui, au lieu d'acheter des lingots de la qualité desquels elles ne peuvent répondre, produiront elles-mêmes les lingots près du laminoir qui va les profiler, près du marteau ou de la presse qui vont les forger. Elles pourraient utiliser ainsi la chaleur centrale du lingot pour obtenir, sans dépense supplémentaire de combustible, un produit fini, de meilleure qualité et à un prix de revient inférieur à celui auquel ils l'obtiennent actuellement.

« Une étude approfondie de la question permet de constater que la petite cornue se prête à merveille aux fabrications les plus variées : fer extra-doux, tôles de toutes qualités, aciers pour tous usages, moulages les plus divers remplaçant les pièces de forge, instruments d'agriculture, de taillanderie, articles réservés jusqu'ici à la fonte malléable.

« Une visite à l'Exposition et aux usines de Stenay

éclairerait complètement à cet égard ceux que la question intéresse. A mon avis, en voulant affecter les grandes aciéries à la production d'autres spécialités que les rails ou des fabrications analogues, on a méconnu la grande loi de la division du travail, le danger de la centralisation à outrance.

« Le type de la petite aciérie capable, moyennant une mise de fonds modeste et un outillage restreint, d'aborder la fabrication des lingots dans des conditions économiques comparables à celles des aciéries à grande production et placé, à tous les autres points de vue, dans des conditions incontestablement supérieures, est sans aucun doute appelé à se répandre. Son extension rendra la vie à l'industrie métallurgique, si éprouvée depuis quelques années par un manque d'équilibre entre la consommation et la production, elle permettra de multiplier les applications du fer et de l'acier, de réaliser des progrès importants dans les industries si diverses qui ont pour point de départ la fonte. »

M. Euverte. — J'ai eu l'occasion de suivre de près le fonctionnement des convertisseurs Robert et j'ai été amené à me poser deux questions que je serais très satisfait de voir résoudre.

La première est relative à l'absence complète de raies dans le spectre de la flamme, observée à un moment quelconque ; cette absence peut créer de réelles difficultés, au point de vue de la fixation du point précis où l'on doit arrêter l'opération et de la possibilité d'obtenir à volonté ces qualités si variées d'acier dont a parlé M. Robert. La seconde se rattache à l'élévation même de la température à la fin de l'opération, élévation qui paraît mise hors de doute par la fluidité du métal, mais dont je n'ai pu jusqu'ici trouver l'explication.

M. Robert. — En ce qui concerne le premier point, je puis répondre que l'absence de raies dans le spectre de la flamme ne cause aucune difficulté sérieuse pour la conduite de l'opération. On peut diriger celle-ci d'après l'aspect de la flamme, qui présente une chute bien nette après l'élimination du silicium et une autre moins marquée après l'élimination du carbone graphitique. En arrêtant l'opération d'après ce caractère, on peut arriver à obtenir un métal de composition bien déterminée.

Quant à la haute température constatée, elle paraît devoir être attribuée à l'absorption incomplète de l'oxygène de l'air dans la traversée du bain de métal sous une épaisseur relativement faible. L'oxyde de carbone qui a pu se produire est brûlé immédiatement, à l'intérieur du convertisseur, par cet excès d'oxygène, au lieu de brûler au gueulard comme dans les appareils ordinaires. Il y a là un développement supplémentaire de chaleur qui explique la haute température obtenue.

M. Howe. — Je ne sais si la température finale est réellement plus élevée dans le convertisseur Robert que dans un convertisseur ordinaire, où l'on emploierait des fontes contenant une aussi forte proportion de silicium. On pourrait, d'ailleurs, expliquer à la fois la haute température finale et l'absence de raies dans le spectre, en admettant qu'il y ait une combustion partielle du fer. En effet, les fumées abondantes d'oxyde de fer qui, dans ce cas, entourent la flamme donnent lieu à la production d'un spectre continu. C'est ce que l'on a constaté en Amérique, où l'on arrive à volonté à rendre l'allure d'une opération plus chaude simplement en inclinant le convertisseur, de manière à diminuer l'épaisseur du bain liquide traversé par le vent.

La flamme devient franchement rouge et les raies disparaissent.

M. J. Garnier. — Le mode particulier de conduite de l'opération Bessemer, signalé par M. Howe comme pratiqué depuis un certain temps déjà en Amérique, remonte aux premiers essais de Bessemer. Dans ces essais, où l'on opérait sur 500 à 600 kilogrammes seulement, dans un appareil de forme tronconique, avec tuyères horizontales à la base, on brûlait beaucoup de fer, et on n'obtenait pas tout de suite une température extrêmement élevée.

M. Lodin. — J'aurais voulu pouvoir présenter au Congrès la théorie complète du procédé Robert, fondée sur l'analyse de pièces d'essai que j'ai pu faire au cours d'une opération; mais le temps m'a manqué pour terminer l'ensemble des dosages et je n'ai pu déterminer que les teneurs en silicium dans les divers échantillons. Cette teneur est la suivante :

Moment de la prise d'essai à partir du début de l'opération	Teneur de l'échantillon en silicium	Observations.
—	—	—
»	2,11 p. °/₀	
7m,30s	1,14 p. °/₀	chute marquée de la flamme
15m,30s	0,25 p. °/₀	Nouvelle chute de la flamme
22m (fin de l'opération)	0,02 p. °/₀	
Après addition de ferro-manganèse	0,11 p. °/₀	

Le dernier chiffre met en évidence la réduction des silicates par le manganèse et par le carbone à haute température, réaction signalée depuis longtemps par MM. Troost et Hautefeuille.

Je compte pouvoir compléter plus tard ces résultats par la détermination du carbone et du manganèse et par l'analyse des scories. L'analyse des gaz dégagés

présenterait un grand intérêt, car elle permettrait de se prononcer sur la valeur de la théorie présentée par M. Robert pour expliquer la haute température du bain. Il semble peu probable que le courant gazeux sortant de celui-ci contienne beaucoup d'acide carbonique, vers la fin de l'opération surtout, mais il se peut que le peu d'oxyde de carbone produit se brûle dans l'intérieur du convertisseur. L'expérience pourrait seule trancher la question.

M. F. Gautier. — Au cours d'une discussion sur les petits convertisseurs, qui a eu lieu dans la réunion de l'Iron and Steel Institute, tenue à Londres en octobre 1886, j'ai eu l'occasion de faire ressortir l'importance relativement considérable de la combustion du fer dans les appareils de petite dimension et la nécessité d'employer dans ces appareils des fontes très riches en silicium pour atténuer le déchet, tout en obtenant une température suffisamment élevée. Mes vues à ce sujet ont reçu l'approbation de sir Henry Bessemer. Je désirerais maintenant savoir si M. Euverte a eu l'occasion de constater, dans le travail des petits convertisseurs alimentés avec les mêmes fontes qu'on emploie ordinairement dans les grands, à 2 p. °/₀ de silicium, par exemple, un déchet comparable à celui que donnent ces derniers appareils.

M. Euverte. — Au début de mes études sur la question, j'ai eu les mêmes préoccupations que M. Gautier, en ce qui concerne le déchet ; l'intensité du bouillonnement à la coulée me faisait présumer que le bain contenait une forte proportion d'oxyde de fer. L'expérience nous a indiqué pour le déchet un chiffre de 10 à 12 p. °/₀ ; je ne pense donc pas qu'il faille chercher dans une combustion active du fer la cause de l'élévation de la température et de l'absence de raies

dans le spectre, notamment de la raie située dans le jaune, dont l'apparition indique l'élimination presque complète du silicium. Je serais porté à croire que les conditions spéciales d'insufflation du bain donnent lieu à une combustion presque simultanée du silicium et du carbone et que c'est cette simultanéité même qui empêche l'apparition des raies.

M. Zyromski. — D'après les indications numériques qui viennent de nous être données, le produit final obtenu au convertisseur Robert tiendrait 0,11 p. °/₀ de silicium. Dans ces conditions, on peut se demander s'il est possible de fabriquer du métal très doux par le procédé Robert.

M. Lodin. — Il faut remarquer que l'élimination du silicium était complète à la fin du soufflage (0,02 p. °/₀); c'est l'addition du ferro-manganèse qui l'a fait remonter. On pourrait atténuer l'importance du phénomène en laissant reposer moins longtemps le bain sous une couche de scories siliceuses.

M. F. Gautier. — Je désirerai savoir si M. Robert a fait sur de grands convertisseurs l'application du soufflage latéral.

M. Robert. — On a traité en Belgique des charges de 4.000 kilogrammes dans des convertisseurs présentant exactement les dispositions de nos petits appareils. On a obtenu d'abord une réduction de deux unités sur le déchet, mais l'usure du revêtement et la déformation qui en a été la conséquence ont fait disparaître cet avantage.

M. le Président. — La discussion sur les convertisseurs de petite dimension me paraissant terminée, nous allons passer à la comparaison du forgeage au

pilon et à la presse, et je donne la parole à M. F. Gautier, auteur du rapport sur la question.

M. Ferdinand Gautier. — Messieurs, j'ai été prié par le Comité d'organisation du Congrès de vous présenter un petit travail sur le forgeage comparé au marteau-pilon et à la presse. Je n'ai eu d'autre prétention, en écrivant cette brochure, que de poser la question, laissant à ceux d'entre vous qui ont à faire connaître des résultats pratiques, de plus de valeur que ceux que j'ai pu recueillir moi-même, le soin de jeter un peu de lumière sur cette matière qui est toute d'actualité.

Pendant longtemps le marteau-pilon a été considéré comme l'appareil le plus économique et fournissant le meilleur travail pour l'étirage des barres et le forgeage des pièces spéciales. En ce moment la presse semble s'imposer comme offrant des éléments de travail plus économiques et une installation moins coûteuse.

Malheureusement pour nous, les types de presses, qui sont en faveur, sont des presses anglaises et nos constructeurs ne sont pas encore entrés dans cette voie.

Le mieux pour moi, je le répète, est de laisser la parole aux personnes qui ont à nous donner les renseignements comparatifs que je n'ai pu obtenir des détenteurs de ces deux modes d'engins, ceux qui possèdent des marteaux-pilons disant que le marteau-pilon est très supérieur à la presse, ceux qui se servent de la presse disant que la presse vaut beaucoup mieux que le marteau-pilon.

J'invite donc les personnes qui pourraient lever le voile et éclairer cette question tout à fait actuelle à venir nous faire part des résultats qu'ils ont obtenus. Je pense, quant à moi, que les constructeurs français pour-

ront très bien trouver dans les types anglais des modèles qui permettraient de résoudre la question et d'introduire la presse dans la pratique des forges sans que nous soyons tributaires de l'étranger.

Je n'ai pas l'intention de vous lire le petit travail que j'ai fait, mais le Congrès entendra, j'en suis convaincu, avec plaisir les renseignements qu'il aura pu provoquer.

M. Bresson. — Messieurs, si je prends la parole pour ajouter quelques mots au travail de M. Gautier, c'est que je suis en situation de fournir quelques-uns de ces éléments de comparaison dont il vient de parler.

M. Gautier, à la première page de son rapport, dans la nomenclature des grands établissements possédant ou ayant commandé des presses, ne cite pas un appareil sur lequel il revient à la dernière page de son travail, quand il dit : « On pouvait voir à l'Exposition de Vienne, en 1873, la presse Haswell, dite presse à forger employée aux ateliers de la Staats-Bahn .... »

Cette presse, que M. Gautier a vu fonctionner en 1873, avait été construite en 1860. Notre Président M. Castel pourrait compléter mes indications à cet égard, car il a vu figurer à l'Exposition de Londres en 1862 une presse Haswell, qui a obtenu une médaille d'or.

Par conséquent, en 1873, la presse dont parle M. Gautier avait déjà douze années de service. Or, pour une presse, vous le savez, une aussi longue existence, c'est déjà la vieillesse, et à ce moment, on étudiait une nouvelle presse beaucoup plus forte. La presse de la Staats-Bahn pouvait développer un effort de 750 tonnes, avec 60 centimètres de course ; la presse qu'on étudiait à ce moment devait avoir une puissance de 1.200 tonnes ;

elle était équivalente, par conséquent, à certains des engins que M. Gautier comprend dans sa nomenclature.

J'ai vu pendant dix ans fonctionner cette presse qui a rendu de grands services dans l'établissement où elle était employée. On s'en servait pour forger des crosses de piston, des bielles, etc. Elle en rendit bientôt de plus grands encore, de la nature de ceux qu'indique et demande pour le forgeage M. Gautier dans son rapport.

En 1865, on construisait à l'usine de Reschitza un atelier Bessemer. Comme l'usine appartenait à une grande Compagnie de chemins de fer, on s'y occupait de la fabrication des rails, des bandanges, des essieux. Pour arriver à forger ces essieux, on avait installé un marteau-pilon de 25 tonnes qui ne donna pas les résultats qu'on en attendait. La production de Reschitza, à cette époque, avait pour base essentielle l'emploi de minerais purs, mais pour obtenir la teneur voulue en manganèse ou ajoutait au lit de fusion des minerais phosphoreux, de sorte que les aciers *servant* à fabriquer les essieux renfermaient quelquefois 8, 9 et même 10 dix millièmes de phosphore. Avec cette composition et l'étirage au marteau, les mieux ne résistaient pas toujours aux épreuves. Quand on eut à sa disposition une presse de 1.200 tonnes pour corroyer les lingots, le succès fut complet.

M. Gautier, dans son exposé, indique précisément pour une presse de 1.200 tonnes l'équivalence d'un marteau-pilon de 30 tonnes. On ne réussissait pas avec un marteau-pilon de 25 tonnes ; on a réussi avec une presse de 1.200 tonnes ; l'équivalence établie par M. Gautier se trouve donc ainsi vérifiée. On construit aujourd'hui des presses de 5.000 tonnes, et il est vraisemblable que l'équivalence indiquée par M. Gautier se continue dans les mêmes proportions.

J'ai été conduit à vous dire ces quelques mots par une autre considération. M. Haswell, dont la presse porte le nom, est entré comme ingénieur au service de l'Autriche vers 1850. Il est évident que les presses qui ont été construites depuis cette époque ont été plus ou moins inspirées par le type qu'il avait créé.

En 1873, il y avait, à ma connaissance, en dehors de celles que M. Gautier a vu fonctionner à Vienne, trois presses en service pour le forgeage chez un des plus grands fabricants de locomotives de Berlin, et une autre en Westphalie.

Ayant été longtemps en relation avec M. Haswell, j'ai cru utile d'appeler votre attention sur la part qui revient à cet ingénieur dans l'étude de la question qui nous occupe en ce moment et dont l'importance tend à croître tous les jours. *(Applaudissements.)*

M. Dodement. — M. Gautier a parlé, dans son rapport, de la chabotte du grand marteau-pilon de Terni. J'ai cru intéressant de préparer une description de la méthode suivie pour l'installation de cette chabotte, coulée d'une seule pièce, et je vous demande la permission de vous en donner communication :

Les fondations de la chabotte ne reposent pas sur un rang serré de pilotis, comme le dit M. Gautier, mais sur les pierres de taille, il n'y a aucune garniture en bois.

La Fig. 1, Pl. XXI, représente une coupe tranversale dans les fondations, montrant la chabotte vue de l'avant du pilon.

La Fig. 2 représente une vue et coupe en plan de la chabotte et de ses fondations.

La Fig. 1, Pl. XXII, représente une coupe transversale montrant la disposition du moule au moment de la coulée.

La Fig. 2 représente une vue en plan des coulées et coupe en plan dans l'assise du moule.

Dans les sondages faits primitivement sur les lieux, nous avions trouvé, à 10 mètres de profondeur, un banc de 7 mètres d'épaisseur de cailloux agglomérés ; ensuite, 2 mètres de cailloux plus gros, agglomérés également et de la dureté du granite. A mon avis, il était inutile de s'établir à une profondeur supérieure à 10 mètres du sol. A cette profondeur, en effet, après avoir essayé sans succès d'enfoncer quelques pieux pour resserrer plusieurs poches moins résistantes qui avaient été découvertes, je me suis arrêté pour établir les fondations.

Celles des jambages furent faites d'abord ; elles se composèrent de deux gros murs a, a (Fig. 1, Pl. XXI) de $15^m,60$ de longueur sur $5^m,10$ d'épaisseur, s'élevant à $0^m,60$ au-dessous du sol de l'usine ; ces murs, entièrement en briques, furent reliés par deux autres *b*, *b* (Fig. 2), faits en maçonnerie mixte (pierres et briques), tous quatre fortement armés par des boulons robustes et des larges plats et formant ensemble un vide de $6^m,60 \times 7^m,60$, destiné à recevoir les fondations de la chabotte et la chabotte elle-même.

Dans ce vide, on pilonna d'abord un béton *cc* d'une épaisseur de $2^m,190$ environ, puis sur cette couche de béton furent placées et jointoyées au ciment trois rangées de pierres réfractaires parfaitement taillées (blocs de $1.100 \times 0,600 \times 0,600$) placées à joints croisés ; soit une épaisseur totale de pierres de $1^m,800$. Sur ces pierres, un lit *e* de briques réfractaires fut établi : deux rangs à plat, un rang de champ ; alors commencèrent les préparatifs pour le moule.

Sur cette surface, on coula à découvert une plaque de fonte *f* de $0^m,150$ d'épaisseur et plus petite de $0^m,400$ dans chaque sens que le vide réservé. Cette plaque

était destinée à former un fond de moule solide et à servir, en cas de besoin, d'armature la reliant au couvercle par l'intermédiaire de boulons.

Lorsque cette plaque fut refroidie, on mit une couche de sable de fonderie *g* avec lanternes perforées entourées de menu coke et aboutissant aux 4 trous d'évents *h*, comme il est représenté d'ailleurs dans la Fig. 2, Pl. XXII, puis on maçonna le radier *i* (Fig. 1, Pl. XXI) en briques réfractaires très dures (briques de Glenboig); on maçonna les parois en briques de même qualité à la partie inférieure, un peu plus tendres et plus réfractaires à la partie supérieure ; entre les briques du moule et les fondations des montants du pilon, on plaça de solides armatures, on serra du sable de fonderie, et un couvercle *k* (Fig. 1, Pl. XXII), composé d'une plaque en 4 pièces, garnie de terre réfractaire, compléta la forme.

De fortes traverses I en fonte, retenues par des tirants pris dans les fondations des montants du pilon, furent placées pour retenir le couvercle contre la poussée, des trous de coulée furent réservés et maçonnés, ainsi que la forme pour la masselotte, comme il est représenté Fig. 1, Pl. XXII.

Dans le moule parfaitement séché, on plaça à l'intérieur : d'abord, à la partie centrale, un gros arbre en fer d'environ $0^m,350$ de diamètre et 4 mètres de hauteur, retenu à la partie inférieure par un tas de gueuses de fonte. (Cet arbre était destiné à équilibrer autant que possible la température et empêcher un retrait central par le refroidissement), puis 80 tonnes de fonte froide parfaitement empilée.

Ceci fait, la coulée s'opéra en deux fois :

La première fois, la fonte fut fournie par cinq gros cubilots, dont deux voisins du moule et trois situés à 2 kilomètres de là. Tous ces cubilots coulèrent la fonte

dans des poches de 10 et 20 tonnes amenées et manœuvrées sur les lieux par locomotives.

Les quatre premières poches recueillies furent coulées ensemble, puis chacune d'elles qui suivit fut rabattue seule, tantôt à un trou de coulée, tantôt à un autre, mais toujours à celui aboutissant à la partie la plus proche du bain, en observant de donner le moins d'interruption possible dans le jet.

La fusion, commencée le 14 septembre 1885, à 9 heures du matin, fut terminée parfaitement, pour la première partie, comprenant environ 803 tonnes, tant matières solides que liquides, le 15 septembre, à 2 heures après-midi.

On attendit jusqu'au 17 septembre, à 7 heures du matin, pour fondre la seconde fois ; à cette époque, la partie supérieure du métal versé auparavant dans le moule était légèrement figée. Cet arrêt avait eu pour but de laisser une partie du retrait se produire. Il s'est produit, comme on le désirait, en affectant une forme concave d'environ $0^m,180$ de profondeur, comme je l'indique en y (Fig. 1, Pl. XXII).

On remplit cette fois le moule complètement, coulant d'abord les deux premières poches ensemble, dans les coulées m, m (Fig. 2) ; puis, opérant ensuite comme la première fois, la croûte qui se trouvait à la surface redevint pâteuse, sans nul doute, et les deux parties arrivèrent à se souder complètement, car au démoulage il n'était pas possible de reconnaître l'endroit où l'on s'était arrêté pour la première fois.

Le moule était rempli entièrement à 4 heures de l'après-midi par 220 tonnes nouvelles de fonte, que l'on y avait coulées dans la seconde partie (1). On

(1) Toutes les fontes employées furent des fontes hématites anglaises et étaient de la marque Distington.

pompa dans la masselotte centrale en l'alimentant constamment avec de la fonte liquide jusqu'au lendemain matin ; ainsi fut faite cette pièce de fonderie colossale d'un poids minimum de 1.000 tonnes, la plus grosse qui ait été exécutée dans le monde entier.

En janvier de l'année 1886, les ouvriers faisaient encore réchauffer leurs aliments sur le sable qui la recouvrait ; en février, elle fut démoulée ; en mars, elle donnait encore de la chaleur (pendant ce temps, on procédait au montage du pilon et de ses grues) ; en juin, la masselotte et les jets de coulée furent enlevés, la surface fut dressée au burin et reconnue parfaitement saine, sans aucune apparence de soufflures ; enfin, au mois d'août, l'enclume, du poids de 29.000 kilogrammes, fut placée et l'on martela.

Au mois de décembre de la même année, c'est-à-dire après quatre mois de marche normale, la chabotte n'était descendue que de huit centimètres et demi, avec une dénivellation de six millimètres. Depuis cette époque, j'ai quitté l'usine et d'après les renseignements que j'ai eus lors d'une visite que j'y ai faite en décembre dernier, elle ne se serait plus dérangée.

Par prudence, des oreilles *n* (Fig. 1, Pl. XXI), venues de fonte avec la chabotte, avaient été réservées pour placer les attaches de verins hydrauliques pour la relever et la remettre de niveau dans le cas où une trop grande dénivellation se serait produite lors du travail; les oreilles *o* ont été réservées pour retenir (par des attaches ou frettes) une pièce supérieure dans le cas ou la tête de la chabotte aurait été malsaine ou soufflée ou bien lorsque la chabotte descendue par trop à la suite du martelage aurait exigé cette pièce entre la chabotte et l'enclume.

Ces oreilles, heureusement, jusqu'alors n'ont pas servi.

Enfin, pour terminer, je puis certifier, malgré les

critiques qui ont été écrites sur le pilon en tôles de Terni et sur sa disposition (1) :

1° Que ce pilon à air comprimé fonctionne parfaitement ;

2° Que la manœuvre se fait par un jeune homme avec une grande facilité. (Au pilon de 100 tonnes du Creusot deux hommes sont indispensables) ;

3° Qu'aucun des rivets, sauf ceux défectueux et tombés au début, n'est parti depuis sa mise en marche normale ;

4° Qu'il y a une facilité beaucoup plus grande qu'aux pilons de 100 tonnes existants actuellement, pour approcher les lingots sur le centre de l'enclume.

D'ailleurs, la meilleure preuve que je puisse donner

---

(1) Le pilon de Terni est construit en tôles rivées ; il est desservi par deux grues à chevalet pivotantes sur l'axe du pilon, pivots reposant sur une traverse supérieure au cylindre, reliée aux 4 montants du pilon. Ces grues peuvent soulever l'une 100 tonnes, l'autre 150 tonnes.

Le pilon et les grues marchent à l'air comprimé à 5 atmosphères effectifs. Cet air est fourni par 10 compresseurs, système Dubois et François, de 0,800 de diamètre, 1,200 de course et mus par des moteurs à eau donnant 20 coups par minute avec une pression d'eau de 18 atmosphères ; il est comprimé dans un réservoir de 800 mètres cubes terminé à son extrémité par deux conduites, une de 0,600 et une de 0,400, le reliant avec un vaste bassin d'eau d'une grande surface placé sur la montagne à 50 mètres environ de hauteur. Dans cette conduite, baptisée colonne barométrique, l'eau monte ou descend, suivant que la consommation d'air est plus faible ou plus forte que la quantité fournie par les compresseurs, et, de cette façon, entretient toujours dans le réservoir d'air une pression peu différente de la pression normale de 5 atmosphères.

Les compresseurs fournissent 40 mètres cubes d'air comprimé à 5 atmosphères effectives par minute et ils suffisent à donner l'air nécessaire pour faire mouvoir le pilon de 100 tonnes et ses grues, un pilon de 15 tonnes, un pilon de 10 tonnes, un pilon de 7 tonnes et une grue pour la trempe des cuirasses.

Le pilon a un diamètre de cylindre de $1^{m},920$, sa course est de 5 mètres au maximum, le poids de la masse frappante se

à l'appui de mon dire, c'est que MM. Schneider et Cie, qui ont envoyé à Terni un de leurs chefs de fabrication et deux contre-maîtres, ont obtenu tout de suite, sans aucun accroc, avec cet engin et des ouvriers du pays non accoutumés au travail de la forge, des quantités et qualités de cuirasses au moins égales à celles qu'ils obtiennent avec le pilon de 100 tonnes qu'ils possèdent dans leur puissante et magnifique usine du Creusot.

M. le Président. — Il n'y a plus personne d'inscrit sur cette question. C'est cependant une question toute d'actualité et il serait à désirer que, malgré l'engouement qui semble exister en ce moment en faveur de la

---

décompose comme suit avec la frappe ordinaire (d'autres frappes sont plus pesantes) :

Marteau avec frettes.....	71.855 kil.
Piston.....	4.710 —
Tige.....	8.260 —
Frappe.....	18.000 —

Soit un poids total de 102.825 kilog.

Il est entré pour le pilon :

	FONTE	FER ET ACIER	BRONZE ET DIVERS
1° Plaques de fondations.....	117.000k	»	»
2° Plaques des boulons.....	98.000	»	»
3° Marteau	89.855	12.970k	»
4° Pilon proprement dit.....	50.650	259.470	1.150k
5° Chabotte	1.000.000	»	»
Totaux	1.355.505	272.440	1.150
Total général.....	1.629.095 kilog.		

L'installation complète du pilon a coûté, avec fondations, etc., etc., 728.000 fr.; la chabotte figure dans ce prix pour 275.000 fr.

presse, quelqu'un vint défendre ici le marteau-pilon, dont l'Exposition a mis en évidence de si remarquables spécimens, notamment dans les usines de la Loire.

M. Dupuis. — Personne ne semble s'être préparé à la discussion sur la comparaison à faire entre le forgeage à la presse et le forgeage au marteau-pilon. Je tiendrais cependant à faire observer qu'il existe certaines fabrications spéciales, particulièrement dans la Loire, qui exigent absolument le travail au marteau-pilon, bien que la presse paraisse présenter, au point de vue économique, des avantages réels, sur lesquels il y aurait cependant quelques réserves à faire.

Dans le cas où l'emploi du marteau-pilon est nécessaire, il me paraît indispensable de proportionner l'importance du marteau-pilon à celle des pièces à forger. M. Bresson parlait tout à l'heure d'un marteau-pilon de 25 tonnes, avec lequel on avait pu forger dans de bonnes conditions des essieux de locomotive. Etait-il bien nécessaire d'employer un pilon aussi puissant pour un travail de cette importance ? C'est peut-être entre ce pilon de 25 tonnes et un autre de moindre dimension que la comparaison aurait été à faire.

M. Bresson. — Dans le cas que j'ai cité, je pense que la comparaison est bien établie. Agissant sur un métal déterminé, un marteau-pilon de 25 tonnes ne donnait pas de bons résultats, tandis qu'une presse de 1.200 tonnes permettait de forger ce métal dans de bonnes conditions.

M. Dupuis. — Je voulais dire que lorsque pour faire une pièce de faible importance on prend un marteau-pilon trop fort, on fait plus de mal que de bien au métal. C'est ce qui a été constaté au Creusot. Je me demande alors si dans cette fabrication d'essieux à

laquelle on vient de faire allusion, on ne serait pas arrivé avec un marteau-pilon plus faible à des résultats tout aussi satisfaisants que ceux obtenus avec une presse de 1.200 tonnes.

M. Gautier se demande comment on peut faire du mal à un métal avec un marteau-pilon trop fort.

M. Imbert. — L'observation de M. Gautier me paraît très importante et je pense qu'il y aurait le plus grand intérêt à faire des études comparatives sur la structure interne des aciers après forgeage à la presse et au marteau-pilon. *(Approbation.)*

M. Pasquier. — L'avantage de la presse, suivant moi, consiste dans ce qu'on peut proportionner son effort à la qualité de l'acier que l'on a à travailler ; on fait, par exemple, varier la pression suivant que cet acier contient plus ou moins de phosphore ou de soufre. Avec une presse de 4.000 tonnes, on peut effectuer tous les travaux possibles, tandis qu'un marteau-pilon ne présenterait pas la même élasticité.

M. le Président. — La question théorique que M. Imbert vient de soulever présente évidemment un grand intérêt. Il en est une autre qui mériterait également de venir ici en discussion, c'est celle des conditions de température qui conviennent au travail du forgeage soit à la presse, soit au marteau.

M. Gautier, dans son rapport, établit que la presse est surtout employée pour le travail des grosses masses d'acier. Je me rappelle, à ce propos, ce qui se faisait chez l'industriel qui, le premier, a travaillé de grosses masses d'acier, M. Krupp, qui exposait dès 1867 des canons fabriqués par forgeage d'énormes lingots.

Il avait déjà reconnu à ce moment la différence qui existe, au point de vue de la distribution interne de la

chaleur, entre un lingot non encore refroidi et plus chaud au cœur qu'à la surface, et une masse de fer formée de mises et chauffée à partir du froid, où l'extérieur est plus chaud que le cœur. Aussi cherchait-il à empêcher le refroidissement à cœur des lingots en les maintenant, dit-on, toujours enveloppés, dans les intervalles du forgeage, d'une couche de charbon de bois incandescent.

Il y a dans ces questions de chauffage des masses métalliques et de distribution interne de la chaleur des points sur lesquels sans doute plus d'un membre du Congrès possède des observations intéressantes.

Forgeage à la presse.

M. Evrard. — Puisque les ingénieurs français qui montent en ce moment des presses à gabarier et à forger, après avoir soigneusement étudié en Angleterre la valeur pratique de ces appareils, ne veulent pas dire ce qu'ils savent et que tout le monde semble se renfermer aujourd'hui dans les étroites limites d'une discrétion absolue sur cet important sujet, nous devons nous y conformer aussi et nous borner à faire de l'histoire.

Mon ami et voisin M. Euverte a publié, il y a quelques années, une traduction du mémoire de M. Tchernoff, qui a servi, on peut le dire, de point de départ aux études moléculaires qui sont aujourd'hui à l'ordre du jour. Je trouve dans ce mémoire un passage qu'il est intéressant de rappeler et qui pourrait servir d'introduction à l'usage en grand de la presse à forger. Ce passage, que je vous demande la permission de vous lire, est ainsi conçu :

« Le forgeage, à des températures au-dessous de l'état amorphe, possède les avantages importants que nous avons l'habitude de lui attribuer. On ne forge

jamais de gros lingots au-dessous de la température de l'état amorphe, et les canons n'ont jamais été et ne sont jamais forgés au-dessous de ce point, parce que pour l'acier à canon ce point correspond au rouge sombre, c'est-à-dire à la limite au-dessous de laquelle, *avec les moyens mécaniques dont on dispose, on ne peut produire aucune action sur de grandes masses d'acier. Il faudrait forger de petits lingots d'acier sous les marteaux les plus puissants.* La pratique actuelle (1876) est de forger le canon de 4 sous le marteau de 5 tonnes, tandis que le marteau de 35 tonnes s'emploie pour les canons de 15 et 20 centimètres, qui demandent un lingot fondu dont le diamètre a jusqu'à 1 mètre. Mais si vous vous représentez une pareille masse d'acier chauffée à une chaleur rouge sombre, vous comprendrez *que le maximum d'effet du marteau le plus puissant sera encore sans résultat et que le forgeage de cette masse sera impossible.* »

Plus loin, M. Tchernoff, revenant encore sur cette question, ajoute :

« On n'a jusqu'à présent aucun mécanisme capable de traiter les grandes masses à de basses températures, mais si on pouvait y arriver, il n'y a pas de doute que les canons forgés dans ces conditions seraient d'une qualité tout à fait supérieure..... »

Il me semble que ces quelques lignes du travail de M. Tchernoff indiquent déjà un motif très valable, très sérieux de l'usage obligatoire de la presse pour le forgeage des grosses pièces et répondent en partie au désir que vient d'exprimer M. le Président.

A ce motif s'en joignent d'autres, comme on l'a déjà fait remarquer, l'action *plus centrale* du forgeage, le travail plus rapide et plus économique, la diminution

du nombre des chaudes et, par conséquent, des chances de détérioration des métaux sensibles au feu, etc.

M. le colonel Bussières. — Messieurs, permettez-moi de vous dire quelques mots de cette question du forgeage à la presse. Sans être précisément un spécialiste dans cette question, j'ai eu l'occasion de visiter, il y a quelque temps, en Angleterre, la grande usine de MM. Vickers, de Sheffield, dont l'outillage est très perfectionné, supérieur probablement à tout ce qui existe en France. La presse à forger fonctionne depuis longtemps dans leurs usines, et comme je leur demandais pourquoi ils préféraient cet appareil au marteau-pilon, ils m'ont répondu que c'était principalement à cause de la rapidité d'exécution du travail ; cette rapidité serait quatre ou cinq fois plus grande que celle que donne le marteau-pilon.

Cette indication est d'ailleurs confirmée par une visite, même sommaire, de l'usine de MM. Vickers. On est véritablement frappé d'y voir, dans un hall de 150 mètres de long sur 25 mètres de large, traversée par deux ponts roulants, un seul outil servant de base à toute cette mise en œuvre industrielle. Cet outil produit évidemment beaucoup, car de nombreux lingots encore chauds sont là pour attester la rapidité du travail.

Je ne puis vous donner à ce sujet des indications précises, je ne puis que reproduire les affirmations d'industriels considérables, qui ont donné à la coulée et au travail du gros lingot d'acier un développement inconnu avant eux.

La presse de MM. Vickers est une presse à un seul corps d'un mètre de diamètre et d'une force de 3 à 4.000 tonnes ; il y a en Angleterre des engins plus puissants encore et le nombre des presses à forger y

est considérable, tandis que celui des marteaux-pilons y est très restreint.

En France, au contraire, il n'y a que de gros marteaux-pilons et pas encore une seule presse à forger en activité. Il convient cependant de rappeler ici que c'est à un Français, à Bourdon, qu'est due l'invention de la presse à forger.

M. Coxe. — Je suis mineur et non pas métallurgiste; je ne suis donc pas en mesure d'émettre un avis motivé dans la question en discussion. Mais je crois intéressant de vous faire connaître qu'en Amérique cette question est loin d'être tranchée. M. Fritz, l'éminent directeur de l'usine de Bethleem, fait exécuter en ce moment les fondations d'un marteau-pilon de 120 tonnes, mais il procède en même temps à l'installation de presses d'une puissance considérable. Il estime donc que les deux types ont leur raison d'être et doivent exister simultanément dans une usine bien organisée.

M. le Président. — Personne ne demande plus la parole sur la question du forgeage et du marteau-pilon ? Nous passerons à la question des alliages ferro-métalliques, sur lesquels MM. Brustlein et Gautier nous ont fait un intéressant rapport. Je propose au Congrès de suivre méthodiquement la discussion, en épuisant les observations ou communications à faire sur un alliage déterminé avant de s'occuper d'un autre. Nous pourrions commencer, par exemple, par les alliages du fer et du manganèse, et je prie M. Gautier de vouloir bien résumer la question.

M. Gautier. — Messieurs, dans le travail un peu volumineux que j'ai préparé pour le Congrès, j'ai cherché avant tout à vous donner un exposé de la

situation d'une métallurgie nouvelle qui n'existait pas il y a 25 ou 30 ans, lorsque les procédés pour fabriquer l'acier en grand sont venus bouleverser l'industrie métallurgique. Comme on le disait tout à l'heure, l'ancêtre de ces alliages est le ferro-manganèse. Je vous ai donné dans mon travail, d'une manière aussi complète que possible, l'historique de l'introduction de la métallurgie du manganèse dans la métallurgie générale de l'acier ; je pense que vous y trouverez un certain intérêt, parce que j'ai pu me servir de beaucoup de renseignements inédits. J'ai cherché à être aussi impartial que possible et à donner à chacun la part d'invention qui lui appartenait. Je veux seulement ajouter ici quelques renseignements que je n'avais pas donnés dans le rapport.

Le manganèse joue dans la métallurgie de l'acier un rôle essentiellement réducteur ; comme je l'ai montré, il sert couramment à réduire l'oxyde de fer qui se trouve en dissolution dans un bain métallique. On a été longtemps avant de se rendre compte de ce rôle réducteur, mais maintenant il n'y a plus de doute sur ce point. Je dois, à cette occasion, vous signaler un nouveau procédé qui permet de réduire l'oxyde de fer et, en même temps, de carburer le bain sans faire intervenir le manganèse. Actuellement, on emploie le spiegel lorsqu'on veut faire un acier un peu dur et le ferro-manganèse lorsque, au contraire, l'acier doit être plus doux ; mais avec le carbone, on introduit nécessairement du manganèse et, en outre, une certaine quantité de silicium.

M. Gilchrist et M. Darby, directeurs de l'usine de Brymbo, dans le nord du pays de Galles, ont imaginé un procédé qu'ils appellent la filtration, et qui consiste à faire passer l'acier liquide sur du carbone. Dernièrement, dans une visite que je faisais à l'usine de

Boucau, M. Magnin me rappelait que M. Sainte-Claire Deville, notre éminent chimiste, visitant une usine où on faisait une opération Bessemer, s'était fait donner une explication chimique de l'emploi du manganèse. Voyant que c'était un rôle réducteur qu'on attribuait à ce métal, il s'était écrié : « Mais il n'y a pas de raison pour que le carbone ne produise pas le même effet ! » On n'avait pas jusqu'ici essayé cette méthode en grand, tandis que maintenant à l'usine de Brymbo on la pratique d'une manière courante. Je regrette de n'avoir pas eu encore le temps d'aller visiter cette mine, et je ne puis vous donner que les renseignements fournis par M. Gilchrist dans son exposition. On peut y voir une collection d'aciers obtenus par « filtration » avec une teneur en carbone variant de 0,21 à 0,43, 0,55, 0,81, 0,90. Les teneurs en phosphore sont à peu près constantes, 0,06 environ ; il ne s'y trouve pas du tout de silicium. Dans ces aciers, le soufre est en quantité négligeable ; on sait qu'en Angleterre les fontes sont d'ordinaire à peu près exemptes de ce mélalloïde. Quant au manganèse, il y en a une quantité variant de 2 à 3 millièmes ; il est assez étonnant que la teneur en manganèse soit aussi élevée. Je n'ai pas eu occasion d'avoir des explications sur cette question, cependant je crois qu'il serait difficile, si on voulait opérer par recarburation au moyen du spiegel, d'obtenir un acier qui ait moins de 3 millièmes de manganèse. J'ai cru devoir attirer votre attention sur ce nouveau procédé qui, en ce sens qu'il lui fait un peu concurrence, touche à l'emploi du ferro-manganèse et qui est intéressant au point de vue théorique. En ce qui concerne les aciers manganésés, lorsqu'on augmente progressivement la dose de manganèse dans l'acier, une certaine amélioration commence d'abord par se faire sentir ; au delà on constate un phénomène inverse. On obtient un

métal qu'on ne peut plus travailler, qui est fragile, sans avoir aucune qualité utile. Quand on force encore la dose on obtient un acier qui a jusqu'à 40 p. °/₀ d'allongement avec 80 kilog. de charge de rupture, caractères incompatibles dans la série des aciers ordinaires. Malheureusement, ces aciers au manganèse sont extraordinairement difficiles à travailler, on ne peut y réussir que par l'emploi de la meule d'émeri. M. Euverte a eu l'obligeance, lorsqu'il dirigeait l'usine de Terrenoire, de faire quelques expériences sur ces aciers ; il a été arrêté aussi par les difficultés de travail. Il est certain qu'il ne suffit pas qu'un acier présente une grande résistance et un grand allongement pour être d'un emploi avantageux dans la pratique ; il faut en outre qu'on puisse lui donner la forme qui convient à un usage déterminé. A ce point de vue, nous remarquerons que la dureté apportée par le carbone est d'une utilisation plus facile. Les aciers carburés sont, avant la trempe, assez malléables pour qu'on puisse facilement leur donner la forme qu'on désire obtenir ; ce n'est qu'une fois le travail terminé qu'on leur donne leur dureté définitive par l'opération de la trempe. S'ils ne présentent pas des qualités aussi exceptionnelles que les aciers au manganèse, ils évitent du moins les difficultés de manipulation que présentent ceux-ci.

M. Le Neve Foster. — Si M. le Président me le permettais, je pourrais fournir au Congrès, sur la question incidente soulevée par M. Gautier, des renseignements qui pourront avoir quelque intérêt. Plutôt mineur que métallurgiste, je ne puis donner sur la fabrication de l'acier par *filtration* que des indications un peu sommaires. A la réunion de l'*Iron and Steel institute* qui aura lieu ici dans quinze jours, M. Darby lui-même en fournira sans doute de plus complètes. L'usine de Brymbo est une usine considérable, outillée pour la fabrication

de l'acier au four Siemens ; en ce moment, on y produit à peu près 50 tonnes d'acier filtré par semaine, mais on pourrait augmenter beaucoup cette production. Le procédé est extrêmement simple ; le métal liquide qui sort de ses fours Siemens-Martin traverse une espèce de creuset perforé qui contient des morceaux de graphite de cornues à gaz ; dans ces conditions, le métal absorbe la quantité de carbone nécessaire pour le transformer en acier. M. Darby affirme qu'il arrive à régler exactement la teneur du produit final en carbone et qu'il peut élever cette teneur jusqu'à 1 p. °/₀. Il le considère comme moins coûteux que le procédé ordinaire, fondé sur l'addition finale d'alliages manganésifères, et croit que dans certains cas il peut y avoir avantage à produire de l'acier sensiblement exempt de manganèse, ce qu'on ne peut faire avec le procédé ordinaire. Je considère son procédé comme très intéressant et méritant d'être étudié à fond.

M. le Président. — M. Foster pourrait-il nous donner son opinion sur le but poursuivi par M. Darby en réalisant cette filtration de l'acier ? L'opération a-t-elle pour but de recarburer le métal ou de réduire l'oxyde de fer qui s'y trouve ? C'est à ce dernier point de vue que M. Gautier nous en a parlé.

M. Foster. — Je pense que les deux phénomènes se produisent en même temps. Le métal qui sort des fours contient un dixième de carbone, tandis que le produit fini contient ordinairement de 1/2 à 1 p. °/₀ de carbone ; il y a donc une recarburation bien accentuée.

M. le Président. — La matière qu'il met dans son filtre est du graphite de cornues à gaz.

M. Foster. — Parfaitement.

M. Euverte. — Je suis absolument d'avis que le

manganèse est parfois nuisible dans les aciers, et qu'il y a des cas où il vaudrait mieux ne pas avoir de manganèse dans l'acier ou n'en avoir que de très petites doses ; or, les procédés fondés sur l'emploi d'une addition finale d'alliages manganésifères donnent des produits tenant une dose minimum de 3 à 4 millièmes de manganèse ; ils ne permettent pas d'obtenir pratiquement des aciers presque exclusivement carburés. Si le procédé par filtration permet de produire couramment de semblables aciers, il réalisera un progrès réel pour la métallurgie.

M. Greiner. — Je tiens à appuyer les paroles que M. Euverte vient de prononcer. Il serait utile que l'industrie fabriquât en grand des aciers moins manganésés que ceux qu'elle produit actuellement ; le carbone doit suffire amplement à la solution des problèmes que les métallurgistes rencontrent. Je crois que tous les praticiens seront de mon avis à cet égard. L'acier manganésé donne lieu à des complications dans les travaux qui suivent le forgeage, c'est-à-dire les travaux du parachèvement. Le manganèse, du reste, ne se dissout pas uniformément dans le métal, comme on pourrait le croire à première vue. J'ai entendu sir William Siemens émettre l'opinion que le manganèse est un excellent agent de désoxydation, mais qu'il y aurait intérêt à s'en débarrasser aussitôt son action produite ; je partage complètement cet avis.

M. Euverte. — Je tiens bien à préciser ce que j'ai dit tout à l'heure. Il y a des cas particuliers où il serait utile d'avoir le moins de manganèse possible dans l'acier ; mais je pense néanmoins qu'il est extrêmement utile, dans un grand nombre de cas, de conserver de 5 à 8 millièmes de manganèse dans l'acier. Cette dose rend des services considérables et, à cet égard, je main-

tiens ce que j'avais dit en 1875, au Congrès de l'industrie minérale tenu à Saint-Etienne.

M. le Président. — Personne ne demandant plus la parole, je demanderai à M. Gautier de vouloir bien aborder la question des alliages du silicium.

M. Gautier. — Le silicium a fait son apparition en métallurgie à la suite des progrès de la fabrication de l'acier en grand. J'ai cherché à vous donner un historique du développement de son rôle, qui a commencé par son introduction à dose relativement faible dans les fontes Bessemer ; il y intervenait comme élément combustible, capable d'élever beaucoup la température finale du bain métallique.

On l'a employé depuis en vue d'éviter la production de soufflures dans les aciers moulés ; son mode d'action a donné lieu à des théories diverses, qu'il serait trop long de discuter. Sans entrer trop à fond dans le détail de la question, j'ai voulu vous présenter l'ancienne théorie de la réduction de l'oxyde de carbone par le silicium, théorie qui avait été imaginée par les ingénieurs de Terrenoire et dont je m'étais fait un moment le propagateur. Elle était compatible avec les données scientifiques dont on disposait à l'époque où elle a été créée ; mais elle a été singulièrement ébranlée par les travaux de M. Muller, le professeur allemand qui a beaucoup étudié la question des gaz renfermés dans l'acier. Actuellement, on en est arrivé à une explication qui n'en est réellement pas une. On admet que le silicium a la propriété de prolonger la solubilité des gaz dans l'acier au moment de la solidification ! C'est l'expression d'un fait, mais cela n'explique rien.

Maintenant j'arrive à une série de questions plus importantes encore et plus complexes, celle d'abord de l'action du silicium sur l'état auquel se trouve le carbone. C'est la question de la transformation des fontes blanches en fontes grises. Vous m'excuserez si j'introduis ma personnalité dans le débat, mais le hasard m'a amené à jouer un rôle dans cette question. J'avais suivi, en Angleterre, les études sur la transformation des fontes blanches en fontes grises par addition de fontes renfermant 5 p. °/₀ de silicium. Lorsque M. Wood fit connaître le résultat de ses expériences, cette communication fut accueillie en Angleterre avec incrédulité. J'ai relevé le fait et, après des expériences faites en France, j'ai amené les métallurgistes anglais à changer d'avis.

M. Wood avait essayé, avec des fontes contenant 5 p. °/₀ de silicium, d'adoucir des fontes blanches du Cleveland. Sans chercher comment cet adoucissement pouvait s'opérer, il avait fait marcher un cubilot pendant plusieurs mois, à raison de 60 tonnes par jour, et il avait obtenu des résultats très remarquables. J'eus ainsi l'occasion, après des expériences que je fis en France, d'introduire l'usage des fontes très siliceuses dans le travail des fonderies.

Pour faciliter cet emploi et diminuer les frais de transport de ces fontes extra-siliceuces, qu'on ne produit pas partout, j'ai cru devoir recommander des teneurs plus élevées que celles que l'on avait essayées en Angleterre.

Or, d'après mes expériences, 10 p. °/₀ me sembla une teneur en silicium suffisante.

Je crois que, dans les usines métallurgiques, cet emploi de ferro-silicium pour transformer les fontes blanches en fontes grises tend à se développer. Ce procédé est très intéressant pour les fondeurs en ce

qu'il leur permet d'employer des fontes de numéros inférieurs.

L'influence du silicium sur le caractère de la fonte paraît hors de doute aujourd'hui. A ce sujet, j'ai inséré dans mon rapport un graphique basé non pas sur mes expériences, mais sur celles qui ont été faites par M. Thomas Turner, professeur à Mason-Collège. Ces expériences sont fort intéressantes, mais elles ont été faites sur une échelle peut-être trop petite.

Si nous abordons maintenant le côté théorique de la question, nous pouvons nous demander, puisque le silicium a la propriété de changer les fontes blanches en fontes grises, c'est-à-dire de transformer le carbone combiné en carbone qui ne l'est pas, si les fontes qui sont grises et qui renferment très peu de carbone combiné ne sont grises que parce qu'elles contiennent du silicium.

Je dois seulement vous faire remarquer qu'il n'y a pas de fontes blanches qui ne contiennent un peu de silicium ; il semble que l'influence de ce métalloïde soit surtout une question de proportion. Je me suis permis d'appeler votre attention sur ce point, dans l'espoir que parmi les métallurgistes qui se trouvent ici rassemblés quelques-uns pourront venir éclairer cette discussion.

Le silicium, en déplaçant le carbone combiné au fer et le rendant insoluble ou graphitique, est bien la cause première de la formation des fontes grises ; c'est ce qui résulte de l'emploi des ferro-silicium en fonderie ; mais, cette influence *précipitante* du silicium peut être contrebalancée par l'influence *dissolvante* que d'autres corps, tels que le soufre, le manganèse ou le chrome, exercent sur le carbone ; il peut donc y avoir certaines fontes impures qui, quoique blanches, renferment une proportion notable de silicium ; cependant, on peut dire qu'en général une fonte de pureté ordi-

naire et qui tient 1 p. °/₀ de silicium passe déjà franchement à l'état gris. Il faut tenir compte, aussi, des conditions de refroidissement, car toute cause de trempe amène la combinaison du carbone et tout refroidissement lent, l'effet contraire. Il y a donc, dans la constitution des fontes grises, des conditions physiques qui étaient connues déjà, et des conditions chimiques qui l'étaient peu et sur lesquelles j'appelle votre attention.

Je n'insisterai pas davantage sur ce sujet et j'arrive à une question moins connue, mais dont je dirai seulement quelques mots, celle des aciers siliceux.

Il existe à Sheffield une usine qui, pour l'élaboration de ses aciers, ne travaille qu'avec des outils faits en acier siliceux. J'avais toujours pensé que le *silicium ne pouvait pas remplacer le carbone pour la trempe de l'acier ;* je me suis convaincu du contraire en voyant une usine entière employer uniquement, dans l'ajustage et le finissage des moulages d'acier, des outils en acier siliceux renfermant 1 p. °/₀ et même 1,5 p. °/₀ de silicium avec 5 à 6 millièmes de carbone. J'en ai fait travailler devant moi. Il faut peut-être un peu plus de précaution pour l'étirage, mais cet étirage est très pratique. Quant à la trempe, elle se fait sans aucune précaution. On obtient ces aciers en fondant dans un creuset des riblons choisis contenant très peu de manganèse, tels que ceux provenant des fers doux de Suède, et on y ajoute du ferro-silicium de manière à avoir jusqu'à 1 1/2 p. °/₀ de silicium. Je ne sais pas quelle est l'importance de cette fabrication d'aciers pour outils, mais j'ai dû vous signaler ce fait qui est, en tout cas, très intéressant.

Reste maintenant la question de la fabrication du ferro-silicium. Je n'en ai pas beaucoup parlé dans mon rapport parce que c'est une fabrication restreinte. Ori-

ginaire de France, elle a émigré en Angleterre ; il n'y a aujourd'hui chez nous qu'une seule usine se livrant à cette fabrication, les hauts-fourneaux de Saint-Louis; il y en a trois en Angleterre et peut-être une ou deux en Allemagne.

J'ai indiqué dans mon rapport les deux conditions qui favorisent la fabrication, toujours fort délicate, du ferro-silicium. Il faut obtenir des laitiers peu chargés en chaux et riches, au contraire, en alumine, de manière à faciliter la réduction du silicium sous l'action du charbon. Vous savez que la silice ne semble pas se réduire sous la seule action du carbone ; pour opérer cette réduction, il faut ajouter à l'affinité du carbone pour l'oxygène celle du silicium pour le fer, ou éventuellement pour un autre métal. C'est sur cette réaction qu'est basée la fabrication du ferro-silicium, fabrication toujours délicate et sur laquelle je n'ajouterai rien à ce que j'ai dit dans mon rapport. *(Vifs applaudissements.)*

M. Bresson. — Messieurs, je voudrais placer quelques observations pratiques à côté de celles que vient de vous présenter M. Gautier. Il s'agit de la présence du silicium dans les fontes et les aciers, et j'invoquerai, à ce propos, le témoignage de M. Mussy, dont j'ai eu l'avantage d'être le collaborateur dans les expériences faites, il y a vingt ans, à Montluçon, à l'usine Saint-Jacques.

On y faisait, à cette époque, des fontes Bessemer, avec les minerais très siliceux et argileux du Berry, dont l'emploi nous était imposé. On arrivait, presque toujours, à avoir dans la fonte une teneur de 4 à 5 p. °/₀ de silicium. Les produits que nous obtenions au Bessemer, avec une pareille matière première, étaient extrêmement difficiles à laminer et nous n'arrivions que très difficilement aux résistances imposées par les cahiers

des charges. Il est certain que c'était du silicium que venaient ces difficultés de fabrication.

Aujourd'hui, dans les usines de Meurthe-et-Moselle, où j'ai eu l'occasion de faire des études analogues également avec M. Mussy, la situation se trouve, pour ainsi dire, renversée. Pour la fabrication du métal Thomas, on y produit des fontes renfermant 0,40 à 0,50 de silicium, et on obtient sans difficulté, en partant de ces fontes, toute une série de produits qui se distinguent par leur douceur et leur malléabilité.

Avec des minerais très siliceux, on obtenait donc un laminage très imparfait. Au contraire, avec un procédé qui élimine le silicium dans la fonte même, on obtient une malléabilité et une ductilité très grandes. C'est le point sur lequel je voulais appeler votre attention. *(Vive approbation.)*

Un Membre. — Est-ce qu'il ne pourrait pas se faire qu'après le traitement de fontes très siliceuses au Bessemer il reste de la silice dans le métal, ce qui expliquerait la mauvaise qualité de l'acier?

Un autre Membre. — On pourrait également supposer que c'est à la présence d'un sous-oxyde de silicium qu'il faut attribuer la mauvaise qualité du métal.

M. Gautier. — L'existence de sous-oxyde de silicium paraît bien douteuse.

M. Bresson. — Je ne connais rien qui puisse la faire admettre.

M. Gautier. — A la fin de l'opération Bessemer, il peut rester du silicium non oxydé dans certaines circonstances, notamment lorsque la température initiale était trop élevée; le fait est bien plus rare quand on travaille au four Siemens-Martin, puisque l'opération est bien plus lente et la température moindre. Il est

vrai que cet appareil peut donner lieu à l'introduction de silicium dans le bain par suite de phénomènes tout différents. Une usine française a essayé de faire des aciers sans soufflures en maintenant longtemps un bain d'acier sur une sole siliceuse et en cherchant à produire une réaction du carbone de l'acier sur la silice de la sole. Dans ce cas, en allure plutôt réductrice qu'oxydante, il peut s'introduire dans le métal une certaine quantité de silicium, si l'opération est assez longue et la température suffisamment élevée.

M. Howe. — Il s'agirait d'abord de savoir si la qualité défectueuse du produit final, dans les exemples cités ci-dessus, tenait à la présence du silicium ou à l'application d'une température trop élevée au cours de l'opération.

En Amérique, on admet assez généralement que le silicium qui reste dans le bain est beaucoup plus nuisible que celui qu'on y introduit par voie d'addition finale. Il semblerait alors que la température jouât un rôle dans la question, car l'influence de la proportion finale de silicium n'est pas aussi grande qu'on l'a dit; en effet, les meilleurs aciers qu'on fabrique en Amérique, ceux qui sont les plus faciles à laminer, renferment une forte proportion de silicium.

M. Gautier. — Il me semble que les deux actions sont concomitantes. L'état de cristallisation que prend un lingot d'acier coulé à une température trop élevée peut exercer une influence qui vient s'ajouter à l'excès de silicium.

M. Lodin. — La marche de l'élimination du silicium au cours de l'opération faite au Bessemer est influencée par la variation rapide de l'affinité du carbone pour l'oxygène avec la température. Cette affinité augmente très rapidement quand la témpérature s'élève,

tandis que celle du silicium pour l'oxygène n'augmente pas sensiblement. Il en résulte que dans une opération commencée à une température modérée le silicium brûle à peu près complètement dès le début; le carbone brûle ensuite. Au contraire, quand l'opération commence à une température très élevée, comme cela se pratique couramment en Allemagne, on constate que l'élimination du silicium est beaucoup plus lente que dans l'allure que nous venons d'indiquer d'abord. Elle s'arrête presque complètement une fois la combustion du carbone devenue très active; dans ce cas, au moment de la chute de la flamme, il reste encore dans le métal une proportion considérable de silicium qui, dans les circonstances mentionnées tout à l'heure par M. Bresson, dépassait parfois 2 p. °/₀.

Il faut ajouter que les irrégularités dans la composition du produit final, attribués souvent à l'influence du silicium, peuvent tenir à des causes différentes et assez variées. La présence de proportions inégales de manganèse peut exercer à cet égard une influence considérable sur les propriétes des aciers. (*Applaudissements*).

M. Coxe fait connaître que les observations faites en Amérique sur la transformation des fontes blanches en fontes grises concordent avec celles présentées au cours de la discussion.

M. le Président. — Avant de clore la discussion, je vous demanderai la permission de dire quelques mots sur les origines de la fabrication du ferro-silicium.

C'est à juste titre qu'on a insisté tout à l'heure sur les difficultés de cette fabrication ; cependant, beaucoup d'ingénieurs ont fait, à des époques diverses et parfois assez anciennes, du ferro-silicium sans le vouloir.

C'est ainsi qu'il y a au moins quarante ans, dans une usine construite en Espagne par un ingénieur français, M. Paillette, on avait fabriqué involontairement des fontes tenant de 12 à 14 p. °/₀ de silicium ; ce n'est pas sans quelque difficulté qu'on arriverait à ce résultat aujourd'hui. On ne savait alors tirer aucun parti d'un semblable produit ; aussi prit-on le parti de jeter le ferro-silicium dans le lit d'un ruisseau, d'où on l'a retiré depuis, sans altération notable.

Il y a dix ans, on m'a montré un morceau de fonte apporté d'Amérique par M. Lawrence Smith, qui l'avait ramassé dans un endroit où il n'existe plus d'usine et où on ne se souvient pas qu'il en ait existé. Cette fonte renfermait 16 p. °/₀ de silicium ; c'est une des fontes les plus siliceuses que j'aie jamais vues ; on n'a jamais pu savoir d'où elle provenait. On faisait donc autrefois, sans le chercher, des fontes contenant du silicium dans des proportions qu'on a quelque peine à atteindre aujourd'hui.

Après avoir fait cette courte digression historique, je prie M. Gautier de vouloir bien nous parler de la fabrication et des emplois du silico-spiegel.

M. Gautier. — Comme je l'ai indiqué dans mon rapport, le silico-spiegel s'est introduit dans la métallurgie de l'acier avant le ferro-silicium. M. Euverte, qui était là tout à l'heure, aurait pu nous rappeler le rôle joué par cet alliage dans la création de la fabrication des aciers sans soufflures. J'ai cherché à donner un aperçu très rapide de l'emploi de cet alliage pour la production d'aciers coulés qui présentent à la traction et au choc une résistance réellement comparable à celle des métaux forgés. Il est incontestable que la présence simultanée du silicium et du manganèse

exerce une action des plus favorables au point de vue de la fabrication des aciers sans soufflures ; la théorie de cette action n'est pas encore très avancée, et je n'ai guère pu faire autre chose à ce sujet que de produire les résultats de M. Muller, résultats qu'on peut accepter en toute confiance.

La fabrication du silico-spiegel est peut-être encore plus délicate que celle du ferro-silicium, à cause de l'affinité de la silice pour l'oxyde de manganèse. Il est intéressant de signaler que, malgré cette affinité, les pertes en manganèse dans la fabrication du silico-spiegel ne sont cependant pas aussi fortes qu'on pourrait le supposer.

M. Gillon. — A l'occasion de l'emploi que l'on fait aujourd'hui du silico-spiegel, je dois faire remarquer qu'on s'est beaucoup occupé des moyens de faire disparaître les soufflures des lingots d'acier, mais qu'on aurait bien dû s'occuper aussi des moyens préventifs. Ainsi le mode de coulée des lingots, qui consiste à faire tomber l'acier de la poche dans les lingotières, d'une hauteur de 1 mètre à $1^{m},50$, réalise en fait un jet de trompe qui entraîne certainement de l'air et le mélange au métal fondu. Il serait aisé de couler les lingots sans s'exposer à cet inconvénient.

M. Lencauchez. — Je ferai remarquer que dans la métallurgie du cuivre, jusqu'à présent on n'a pas adopté la coulée à la poche, comme on la pratique pour l'acier. Après l'affinage du cuivre dans de grands fours qui renferment 12 tonnes de métal, on est obligé d'employer pour la coulée jusqu'à 18 et 20 fondeurs, munis de cuillers en fer avec lesquelles ils enlèvent chaque fois 10 kilos.

C'est une organisation d'autant plus compliquée que pour faciliter le travail autant que possible on est

obligé d'accoupler autant de gauchers que de droitiers. On verse le cuivre dans la lingotière, d'une très faible hauteur, de façon à éviter l'entraînement de l'air.

Dans la coulée de l'acier, l'introduction de l'air provoque la formation d'oxyde de carbone, d'hydrogène en même temps si cet air est humide, sans parler de l'azote qui reste intact. Or, l'introduction de gaz dans l'acier liquide a d'autant plus d'inconvénients que le métal est appelé à se solidifier plus rapidement, parce qu'alors les bulles gazeuses ont moins de facilité pour se dégager.

Dans la fabrication du verre, il faut atteindre une température de 1.500 degrés au moins et une fluidité comparable à celle de l'eau, pour que le dégagement des bulles se fasse convenablement. Je crois que pour l'acier on fait le contraire de ce qu'on devrait faire en commençant par introduire des gaz dans la coulée ; on aurait donc intérêt à couler en source.

M. Magery. — Il y a certaines aciéries qui emploient couramment la coulée en source ; l'opération exige un peu plus de temps que la coulée directe. Les bulles gazeuses ont donc plus de facilités pour se dégager ; de plus, elles restent pour la plupart dans le canal de coulée et ne vont pas jusqu'à la lingotière. On obtient ainsi des lingots qui ne présentent aucune soufflure visible.

M. Howe. — Il est possible que l'entraînement de l'air par le jet d'acier liquide tombant dans la lingotière contribue à produire des soufflures, mais il me paraît incontestable que la plupart de celles-ci ont une autre origine. A l'appui de mon opinion, je me contenterai de donner les deux arguments suivants :

D'abord la composition des gaz qui se dégagent de l'acier en cours de solidification ou que l'on trouve à

l'intérieur des soufflures n'est pas celle qui répond à l'hypothèse d'une origine atmosphérique. La proportion de l'hydrogène y est beaucoup trop considérable par rapport à l'azote.

D'aute part, il importe de remarquer que le dégagement de gaz se produit au moment de la solidification du métal, alors même qu'on aurait tenu celui-ci en fusion tranquille pendant dix heures, comme l'a fait M. Muller. Les gaz étaient donc dissous dans le bain et quand celui-ci en a été préalablement saturé, comme dans le procédé Bessemer, on peut se demander pourquoi on craindrait de l'exposer de nouveau au contact de l'air.

M. Lencauchez. — Les métaux fondus dissolvent inégalement les divers gaz ; on comprend donc que la composition des gaz qu'ils laissent dégager en se solidifiant soit très différente de celle du milieu dans lequel l'absorption s'est produite. C'est ainsi que l'air qui se dégage de l'eau soumise à l'ébullition n'a pas la même composition que l'air atmosphérique.

M. le Président. — A propos du silico-spiegel sur lequel M. Gautier nous a fait un très intéressant rapport, je vous en signalerai, à l'Exposition, de fort beaux échantillons parmi lesquels certains tiennent jusqu'à 20 p. °/₀ de silicium. Pour donner une idée de la difficulté de cette fabrication, je vous dirai qu'avec un fourneau produisant normalement 100 tonnes de fonte par jour, on n'obtient que dix tonnes de silico-spiegel riche, la production diminue donc des neuf dixièmes. Cette observation faite, je prie M. Gautier de résumer son rapport sur le ferro-nickel.

M. Gautier. — Messieurs, je m'étendrai encore moins sur le ferro-nickel que sur les alliages précédents. Je

vous rappellerai seulement que les progrès réalisés dernièrement dans l'industrie du nickel sont dus aux notions plus justes qu'on s'est faites sur l'influence exercée par la dissolution de l'oxyde de nickel dans le métal. Tant qu'on ne s'est pas rendu compte de cette influence, on n'a pas trouvé le moyen de rendre le nickel malléable. La première tentative heureuse dans cette voie a été celle de M. Fleitmann, qui a employé le magnésium d'abord, l'aluminium ensuite.

Par raison d'économie, je crois, on a cherché à remplacer l'aluminium par le manganèse. On ne voulait pas l'employer sous forme de ferro-manganèse parce qu'il y avait des inconvénients à introduire trop de fer dans le nickel. On employa donc d'abord le manganèse métallique acheté chez les marchands de produits chimiques ; ce n'était pas un produit pur et on fut amené à chercher à obtenir le manganèse dans les creusets eux-mêmes en y introduisant du peroxyde de manganèse et du cyanoferrure de potassium. Cette addition introduisait encore du fer dans une proportion qui n'était pas négligeable ; si on n'avait employé un cyanure alcalin, on aurait eu des frais plus élevés, mais on aurait obtenu un produit plus complètement dépourvu de fer.

Le ferro-nickel est un alliage de fer et de nickel avec du carbone, qui paraît devoir prendre une certaine importance. Pendant plusieurs années on a essayé d'incorporer à l'acier une certaine quantité de nickel. On avait d'abord été assez découragé par deux raisons, d'abord par la cherté du nickel, ensuite par l'espoir que l'on conservait d'obtenir les mêmes résultats d'une autre manière moins coûteuse. Cependant, à la suite d'expériences en grand à Glascow et au Creusot, il semble qu'il y ait avantage à produire un certain alliage tenant par exemple 7 à 8 millièmes de carbone et 4 à 5 p. °/₀ de nickel. Il reste d'une part à perfectionner le mode de

fabrication, d'autre part à réduire le prix du nickel en simplifiant sa métallurgie, précisément en vue de cet emploi spécial. Le nickel est cher pour plusieurs raisons : la première, c'est que ses minerais ne sont pas très riches et sont exploités fort loin de l'Europe ; de plus, les procédés qu'on emploie pour l'extraire et le purifier sont des procédés coûteux, plutôt chimiques que métallurgiques. Or, il importe peu, par exemple, que le nickel renferme du fer du moment qu'on a l'intention de l'incorporer dans un bain d'acier ; on peut donc simplifier l'extraction du nickel destiné à cet usage spécial. Je n'en dirai pas davantage, car je crois qu'un de nos collègues a l'intention de prendre la parole sur cette question.

M. Jules Garnier. — Messieurs, jusqu'ici je n'ai publié que des notes détachées sur mes procédés de métallurgie du nickel, sans en donner un ensemble : j'étais obligé à la discrétion à cause des intérêts engagés. Les circonstances me permettent aujourd'hui d'entrer dans plus de détails et je vais, en quelques mots, décrire la métallurgie du nickel tiré de ses oxydes calédoniens, comme je l'ai toujours comprise.

Dans mon brevet français du 15 février 1876, je disais, en principe : 1° qu'il fallait former d'abord une fonte de ferro-nickel par une première fusion ; 2° affiner cette fonte pour nickel pur sur sole ou au Bessemer ; 3° utiliser les alliages de ferro-nickel intermédiaires dans la métallurgie du fer, sur ce point, qui nous intéresse ici spécialement, je disais, à la suite de mes premiers essais au creuset :

« Le nickel peut donner au fer de la dureté, le rend inoxydable et ne nuit pas à sa malléabilité, alors même qu'il est introduit en forte dose. Je me réserve donc expressément l'emploi des fontes de fer, fers, fers fondus

et aciers, alliés d'une petite proportion de nickel..... Ces fers ou aciers serviront à la fabrication des bouches à feu et canons de fusil peu oxydables et très tenaces..... A l'égard des tôles pour chaudières, je remarquerai que les tôles qu'on emploie actuellement pour cet usage en fer fondu ou acier, celles même en fer puddlé, se détériorent rapidement à l'intérieur de la chaudière, elles s'oxydent rapidement sous l'influence de la pression, de la chaleur et du contact de l'eau, surtout quand elles renferment du manganèse : avec les fers nickelés qui sont si peu oxydables, ces détériorations seront beaucoup moins rapides et je revendique expressément toutes ces applications à la métallurgie du fer, soit qu'on l'emploie au creuset, au Bessemer ou sur les soles des fours à réverbère..... »

Lorsque je montai un haut-fourneau à Nouméa pour produire la fonte de ferro-nickel, il se trouva un professeur de métallurgie, mort aujourd'hui, mais qui jouissait à juste titre d'une grande notoriété, pour dire que je ne réussirais pas, en l'absence du soufre, à produire un carbure de fer et de nickel; cette opinion d'un homme éminent montre combien le nouveau a de la peine à se faire jour. Quoi qu'il en soit, la mise en feu à Nouméa eut lieu le 10 décembre 1877 et les résultats furent ceux sur lesquels je comptais : la première fonte, avec des minerais à 10 p. °/₀ de nickel, contenait 61,50 de nickel et 2 p. °/₀ de soufre. L'allure du fourneau était très bonne, malgré la grande quantité de laitier.

C'était un événement dans le pays et l'on dut faire une *coulée officielle* en présence du gouverneur, de son état-major, des officiers et de la moitié de la population du pays. Grâce à cette fonderie, je puis dire, sans fausse modestie, que l'industrie du nickel est devenue française, car, à l'état de minerai, le nickel s'en allait

par les navires de commerce anglais, tandis qu'à l'état de fonte, le fret devenait relativement insignifiant et l'on pouvait expédier en France.

Les premières fontes de ferro-nickel me parvinrent au commencement de 1878 ; en attendant que mes fours à sole fussent prêts, je fis un premier essai (mai 1878) chez MM. Reverchon et Saglio aux usines d'Audincourt ; j'affinai quelques centaines de kilog. au foyer comtois pour ferro-nickel ; nous martelions les loupes à chaud, suivant l'usage, mais elles s'émiettaient. Je quittais donc l'usine assez déconfit du mauvais résultat obtenu. Toutefois, j'avais remarqué que le ferro-nickel affiné se martelait de mieux en mieux à mesure qu'il se refroidissait ; j'en conclus naturellement que ce travail devait se faire à froid.

Quant aux modifications chimiques subies par la fonte de ferro-nickel, elles étaient ce qu'elles devaient être, à savoir qu'une grande proportion des métalloïdes et du fer s'étaient éliminés pendant que le nickel lui-même subsistait.

Toutefois, le soufre n'avait pas disparu totalement. J'attribuai ce fait à ce que je ne pouvais obtenir une *basicité* suffisante au foyer comtois et je m'empressai d'écrire à M. Caulry, l'ingénieur de la fonderie pour fonte de ferro-nickel, afin qu'il diminuât la proportion de soufre, soit en employant le charbon de bois, soit en forçant la dose de calcaire dans le lit de fusion. A la suite de ces instructions, je reçus des fontes à moins de 1 p. % de soufre, chargées de silicium, extrêmement tenaces et compactes. Ce n'était pas encore le résultat qu'il me fallait, car je craignais que par simple action oxydante sur sole ou au Bessemer le soufre ne s'éliminât pas. C'est ce qui arriva, et pour enlever les dernières traces de soufre sur sole Siemens, je dus constituer une fausse sole en chaux, avec additions,

pendant l'affinage, de charbon de bois et du spath fluor, de la sorte j'arrivai à purifier assez bien mes nickels, mais le résultat était coûteux. Sur ces entrefaites, je m'aperçus qu'un long recuit du nickel sulfuré dans du charbon de bois plus ou moins mêlé de chaux, désulfurait le ferro-nickel. M. le Basteur, dans les fours de recuit des ateliers de P.-L.-M. (1879), me fit à cet égard des essais où le soufre passa de 0,1 p. °/₀ à 0,02 p. °/₀. La fusion au creuset avec flux réducteur me donna les mêmes résultats, et comme nous disposions de fours à manche de six mètres de hauteur, nous y passâmes nos fontes de ferro-nickel avec addition de fondants basiques; mais en quelques jours nous brûlions nos garnitures intérieures et il fallait deux fontes successives et un excès de combustible pour passer de 1 p. °/₀ de soufre à 0,03 p. °/₀.

Il ne suffisait plus que d'installer un cubilot à parois neutres pour procéder économiquement ; mais notre industrie naissante du nickel ne donnait pas grande confiance aux capitalistes ; mes associés se découragèrent et l'affaire passa en d'autres mains. Je me retirai moi-même exténué d'une lutte et d'un travail de six années consécutives. Mes procédés furent abandonnés par mes successeurs ; la France ne produisait plus de nickel ; les Allemands et les Anglais, qui s'étaient cru ruinés un instant, passèrent des marchés de ferro-nickel, dont ils extraient le nickel d'après leur métallurgie ancienne et compliquée.

Mon procédé définitif que je viens de décrire succinctement n'ayant jamais été publié, je me décidai, à la date du 9 janvier 1888, à en déposer la description, sous pli cacheté, à l'Académie des Sciences ; enfin, dans ces derniers temps, je l'ai fait breveter à titre de perfectionnement.

On peut voir, entre autres, dans ma collection expo-

sée par les soins du Ministère de la Marine, à l'esplanade des Invalides, dans le pavillon dit « Maison coloniale » :

1° La fonte de ferro-nickel des hauts-fourneaux de Nouméa ;

2° Des moulages de ferro-nickel ;

3° Des pièces laminées ou martelées en ferro-nickel à divers titres ;

4° Du nickel pur laminé et embouti.

Le tout produit par mes soins dans mon usine de Septèmes ; dans la maison Dalifol du quai Jemmapes, à Paris, et ailleurs, de l'année 1876 à l'année 1882.

J'ajouterai que, dans la même salle, M. Reverchon d'Audincourt expose des nickels purs, emboutis sous toutes les formes, et je signale ce fait curieux que la première usine française qui a vu l'*alpha* de la métallurgie du nickel de Nouvelle Calédonie en exécute aujourd'hui l'*oméga*. *(Applaudissements.)*

M. le Président. — Qu'il me soit permis de remercier MM. les Membres du Congrès, mineurs et métallurgistes distingués, de l'honneur qu'ils ont bien voulu me faire en m'appelant au fauteuil de la présidence.

Je rappelle au Congrès qu'il y aura une petite interversion dans l'ordre du jour de demain. M. Reumaux, obligé de partir de Paris demain soir, traitera, dans la première partie de la séance, les questions se rapportant à la montée, à la descente et à la circulation des ouvriers dans les mines.

La séance est levée à 5 heures et demie.

Séance du lundi 9 septembre 1889.

La séance est ouverte à 2 heures 1/4.

M. Castel, président du Congrès. — Messieurs, j'ai eu le regret de vous faire part du décès de l'un des membres de notre Congrès, M. l'Ingénieur en chef au Corps des Mines, Fuchs. Obligé de vous quitter pour aller assister aux obsèques de notre regretté collègue, je prie M. Coxe, vice-président, de vouloir bien se charger de présider cette séance.

Sur la proposition de M. le colonel Bonkowski-Rey, délégué du gouvernement impérial ottoman, le Congrès prie M. le Président Castel de vouloir bien exprimer à Mme Fuchs ses sentiments de vive condoléance.

M. le Président Castel. — Avant de vous quitter, Messieurs, j'ai à vous donner lecture de la lettre suivante que je viens de recevoir :

« Monsieur le Président,

« D'après les journaux, le Congrès dont vous êtes le président doit s'occuper de la déphosphoration des minerais.

« Je crois devoir vous faire connaître que depuis longtemps, en France, il a été expérimenté un procédé breveté au nom de M. le baron de Rostaing et au nom dudit et de M. Baudoüin, qui se prête à toutes les épurations de cette sorte de matières surchauffées ou liquéfiées par leur projection au travers des courants d'air, ou simples ou chargés de gaz. Les inventeurs, après avoir fait des dépenses considérables pour la démonstration pratique et l'application industrielle de leurs inventions, sans obtenir qu'il en fût fait usage,

ont renoncé à les continuer : mais leur survivant croit encore à leur utilité la plus étendue.

Quoique âgé de plus de 81 ans et quelque peu valétudinaire, je me ferais un devoir de donner, s'il en était besoin, toute explication jugée utile.

Je vous prie d'agréer, etc.

« Achille BAUDOUIN,

« 52, Avenue d'Orléans. — Paris .»

M. le Président Castel. — J'ai à transmettre enfin au Congrès l'offre qui a été faite par M. l'Ingénieur en chef des ponts et chaussées, Maurice Lévy, de nous montrer son système de traînage mécanique sur les canaux et je vous propose d'organiser, à cet effet, une excursion, jeudi matin, laquelle pourrait être suivie dans l'après-midi de la visite, proposée par M. Lencauchez, des Usines de la Société des Métaux à Saint-Denis.

M. Coxe. — Je remercie le Congrès de l'honneur qu'il me fait en m'invitant à prendre la présidence de cette séance et je constate une fois de plus la bienveillance témoignée par la France à l'égard des étrangers.

M. Pinget, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la séance du 6 septembre; sa rédaction est adoptée.

M. Gautier, l'un des secrétaires, donne lecture de la note suivante transmise par M. Badoureau, ingénieur au Corps des Mines :

« Messieurs,

« Je n'ai demandé la parole que pour vous soumettre une observation très courte et peu importante, mais susceptible, à mon avis, d'éclairer un peu le point suivant : MM. les orateurs de la précédente séance

vous ont démontré la convenance pour toute forge de posséder simultanément des presses et des pilons. Il me paraît que cette nécessité aurait pu se prévoir *à priori* de la façon suivante : Le choc d'un pilon ou le travail d'une presse se mesure par le produit d'une demi-masse et du carré d'une vitesse, ou, ce qui revient au même, par le produit d'une force et d'une longueur. Mais un nombre brutal (c'est le cas de le dire ou jamais) de kilogrammètres, d'ergo, diraient les électriciens, ne suffit pas à le définir complètement.

« Quiconque veut cingler ou gabarier une pièce doit tenir compte de son volume, de la quantité des scories à chasser, de leur fluidité, de la différence de forme à obtenir, etc. Un forgeron doit donc disposer de pilons et de presses de diverses dimensions, tout comme un géologue en course a besoin de deux marteaux, l'un pour prélever des blocs sur les rochers qu'il rencontre, l'autre pour les échantillonner. Nous portons même ces deux marteaux sur la charmante décoration qui nous a été distribuée par MM. les organisateurs de ce Congrès.

« A. Badoureau. »

M. le Président. — L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur les alliages ferro-métalliques. La parole est à M. Gautier.

M. Gautier. — Messieurs, j'ai à peu près terminé le résumé du travail que j'ai publié sur les alliages ferro-métalliques, il ne me reste plus que le ferro-aluminum à traiter.

L'introduction de l'aluminium dans la métallurgie du fer et de l'acier est un fait nouveau. Comme je vous l'ai dit, dès 1859, Sainte-Claire Deville avait remarqué que l'aluminium agissait sur le fer ; je

crois qu'il y a même des travaux plus anciens; mais l'aluminium n'a fait sa première apparition dans la métallurgie que récemment et à l'occasion de la fabrication des aciers sans soufflures. La première fois qu'on a présenté à l'examen des métallurgistes un acier obtenu par une addition d'aluminium, on a tenu le procédé secret, de sorte qu'on a pu admirer à Londres (j'assistai à cette séance) des échantillons fort remarquables d'aciers Mitis obtenus par l'emploi de l'aluminium, mais sans savoir comment ce produit avait été obtenu; ce n'est que plus tard que les inventeurs se sont décidés à faire breveter cette addition d'aluminium pour la fabrication des aciers sans soufflures.

De nouveaux résultats ont été obtenus en Amérique; j'ai cherché à vous résumer ces expériences d'après les renseignements fournis par M. Gyps; je vous disais à propos du ferro-silicium que le silicium avait la propriété très intéressante de transformer le carbone combiné en carbone insoluble et qu'il en résultait un moyen pratique de fabriquer des fontes grises avec de la fonte blanche. Cette propriété est partagée par l'aluminium à un degré encore plus élevé. Si l'aluminium pouvait être livré à un prix plus bas, surtout sous forme d'alliage avec le fer, il est probable que l'emploi du silicium pour transformer la fonte blanche en fonte grise disparaîtrait et serait remplacé par l'emploi de l'aluminium à une dose plus faible, mais plus énergique.

En ce qui concerne la fabrication du ferro-aluminium, j'ai à compléter mon rapport par des vues générales que je regrette de n'avoir pas pu y insérer. On sait que l'alumine ne peut pas être réduite par le charbon seul, c'est-à-dire que la quantité de chaleur que produit l'aluminium en se combinant avec l'oxygène est supérieure à la quantité de chaleur que le carbone peut produire en se transformant en acide carbonique. Il en

résulte que jusqu'à présent la réduction de l'alumine par le charbon n'a pas été possible. D'un autre côté, on sait que l'aluminium a d'abord été obtenu par l'action sur l'alumine de métaux alcalins tels que le potassium, le sodium; or, on peut réduire le potassium et le sodium par le charbon. Il y a donc là un moyen déterminé pour obtenir l'aluminium, mais jusqu'à présent la métallurgie n'en a pas tiré parti autrement que pour produire du sodium et du potassium et pour faire réagir ces métaux sur des corps contenant de l'alumine. Dans ces derniers temps, on a cherché à produire l'aluminium en faisant intervenir des actions électriques; il est impossible, par le carbone seul, de réduire l'alumine, mais il n'est pas impossible, en ajoutant une énergie nouvelle provenant de piles électriques, de réduire l'alumine et d'obtenir l'aluminium. Nous avons donc assisté à des efforts qui semblent avoir déjà un caractère pratique pour obtenir l'aluminium par ce moyen. Je n'insisterai pas sur cette production de l'aluminium par l'électricité; ce qui intéresse les métallurgistes du fer et de l'acier, ce n'est pas tant d'obtenir l'aluminium à l'état métallique, que d'obtenir un alliage d'aluminium et de fer. Comme je le faisais observer à propos du ferro-nickel, le progrès qui s'impose, pour la fabrication de cet acier, en supposant qu'il présente un intérêt, c'est non pas d'ajouter du nickel pur au bain, mais d'y incorporer du nickel sous la forme plus économique d'alliage de nickel et de fer. En ce qui concerne l'aluminium, l'intérêt du métallurgiste est donc d'avoir un alliage de fer et d'aluminium qui permette d'incorporer à un bain d'acier les propriétés si remarquables de l'aluminium. Enfin, je ferai observer que ce qui caractérise l'aluminium, c'est l'action énergique de ce métal à très faible dose; c'est à cette action très

efficace qu'il doit, malgré un prix élevé, d'être un produit pratiquement utilisable.

Je désirerais maintenant dire quelques mots d'un autre sujet qui se relie à celui-là, mais je ne le ferai qu'avec la plus grande réserve, parce qu'il s'agit de procédés encore inexpliqués qui ne sont pas encore dans la période tout à fait industrielle et qu'il est permis de se demander si on a affaire à quelque chose de sérieux. Quoi qu'il en soit, on trouve à l'Exposition, dans la classe 48, des produits exposés par MM. Brin frères, déjà connus par un procédé de fabrication de l'oxygène que j'ai eu l'occasion d'étudier en Angleterre et qui marchait assez pratiquement, grâce au soin avec lequel ses inventeurs avaient su débarrasser l'air de l'acide carbonique qu'il renferme; sans connaître complètement le procédé par lequel ont été obtenus les produits auxquels je viens de faire allusion, j'ai à ce sujet quelques idées que je voudrais vous soumettre : MM. Brin prétendent en fondant de la fonte, soit dans un creuset, soit dans un cubilot, soit sur sole, pouvoir incorporer à ce métal une petite quantité d'aluminium, de 1 à 2 p. °/₀, en opérant cette fusion en présence d'un mélange qu'on m'a indiqué comme composé de 100 parties de chlorure de sodium, 100 parties d'argile et 5 à 10 parties de borax. Il est certain qu'au premier abord on ne voit pas bien quelle action il peut y avoir entre le chlorure de sodium qui est un corps assez facilement volatil, l'argile qui est un corps saturé et le borax qui est un corps également saturé d'acide borique et de soude, et cependant ces Messieurs prétendent qu'il y a de l'aluminium dans le produit qu'ils obtiennent. Je crois même qu'on a analysé plusieurs échantillons du métal ainsi obtenu et qu'on y a trouvé 2 p. °/₀ d'aluminium ; je dois dire que je n'ai pas fait

cette analyse. Je connais d'autre part des personnes qui ont analysé le même produit, en Angleterre, et qui n'y ont pas trouvé d'aluminium, mais du bore. Le bore peut venir du borax ; quoi qu'il en soit, il y a là une modification de la fonte qui se révèle notamment par une sonorité particulière; voici l'explication que j'ai à vous soumettre à ce sujet :

Je disais tout à l'heure qu'on pouvait obtenir de l'aluminium en faisant réagir du sodium sur l'alumine ; l'industrie du ferro-silicium nous apprend qu'on peut réduire la silice par le charbon en présence du fer. On peut donc se demander si dans un mélange bizarre comme celui que j'ai indiqué, il n'y aurait pas une action du fer sur le borax qui mettrait en liberté du sodium, lequel, réagissant ensuite sur l'argile, mettrait en liberté une certaine quantité d'aluminium. Je présente cette hypothèse sans insister, d'ailleurs, sur un procédé qui est encore entouré de trop d'obscurité pour mériter une étude plus approfondie. L'intérêt que je trouve dans cette question est celui-ci : je crois qu'avec quelques efforts il y aurait peut-être une autre métallurgie de l'aluminium à créer, laquelle consisterait à mettre en liberté ce métal en présence du fer, au lieu d'employer l'électricité, qui est un agent coûteux. A ce sujet, j'appelle votre attention sur une réaction chimique qui est connue et qui n'est cependant pas employée dans la fabrication de l'aluminium : si on fait réagir à chaud du siliciure de fer sur du fluorure d'aluminium, la réaction est la suivante :

$$Si\,Fe^n + Al^2\,Fl^5 = Si\,Fl^5 + Al^2\,Fe^n$$

on obtient du fluorure de silicium volatil et du ferro-aluminium. Voilà une réaction qui est simple, qui n'emploie aucun métal coûteux,comme le sodium ou le potassium, qui n'introduit pas d'agent dispendieux

comme l'électricité et qui, cependant, peut produire un alliage de fer et d'aluminium précisément sous la forme nécessaire aux métallurgistes pour faire l'acier. Maintenant un mot seulement pour terminer : dans ces derniers temps, on a beaucoup parlé du procédé Cowles ; l'aluminium obtenu par ce procédé est tellement carburé qu'il ne présente plus les propriétés particulières de l'aluminium pur ; si ce procédé se développe, il faudra faire suivre la préparation de l'aluminium brut d'une opération de raffinage qui éliminerait le carbone.

M. Guillemain. — M. Gautier vient de parler de l'aluminium préparé par le procédé Brin. J'ai eu la curiosité de consulter les brevets que M. Brin a pris sur cette question et je crois avoir trouvé dans ces brevets un semblant d'explication au moins de la réaction qui se produit. M. Brin a d'abord pris un brevet pour produire l'aluminium en faisant passer du chlorure d'aluminium sur des métaux chauffés au rouge ; il est possible, il est même probable, si la réaction s'opère, qu'il se forme peut-être un fluorure volatil et qu'il se produit un alliage d'aluminium et de fer ou d'aluminium et de cuivre ; d'autre part, dans un second brevet, M. Brin revendique un mélange qui n'est pas identique à celui qu'a indiqué M. Gautier, mélange de chlorure de sodium, d'alumine hydratée et de borax, et il ajoute qu'on peut même supprimer le borax et le remplacer par un corps quelconque facilement fusible qui sert de fondant. Est-ce qu'il n'y aurait pas entre le chlorure de sodium et l'alumine une réaction à haute température qui produirait l'aluminium, lequel, en présence du fer ou du cuivre, produirait un alliage ?

M. Gautier. — Il est certain que dans l'état actuel des connaissances chimiques, on ne connaît pas de réaction permettant d'expliquer la présence de l'alumi-

nium dans le métal produit par ce procédé ; mais il ne faut pas désespérer du progrès et il serait vraiment intéressant que ces affinités pussent se trouver à haute température. Il n'y aurait là rien d'étonnant et, dans tous les cas, j'ai désiré attirer l'attention du Congrès sur ce point.

M. Howe. — J'ai entendu dire par des ingénieurs très compétents que récemment l'aluminium avait été réduit directement par le carbone. Quant au procédé Brin, je ne le considère pas comme sérieux et je m'étonne qu'on en ait entretenu le Congrès.

M. Brustlein. — Dans les essais d'explications de l'action de l'aluminium pour empêcher les soufflures, on paraît avoir surtout cru que cette action était due à la désoxydation du fer ; cependant l'explication ne paraît pas tout à fait concluante. Je croirais, pour ma part, que l'aluminium a une grande action sur les silicates qui peuvent encore se trouver répandus dans l'acier. Si on examine une soufflure, on trouve généralement à la bouche de cette soufflure une légère partie transparente, dans laquelle se trouve de la silice, et il est encore possible, avec l'action très énergique qu'a l'aluminium pour décomposer les silicates, qu'il y ait réduction immédiate et que ce soit une des manières d'agir de l'aluminium pour empêcher les soufflures.

M. le Président. — Personne n'a plus rien à dire?... Nous passons au fer chromé. La parole est à M. Brustlein pour la lecture de son rapport.

M. Brustlein. — Je résumerai, Messieurs, en peu de mots la note qui a été distribuée aux membres du Congrès sur les alliages du fer chromé. Il y a une douzaine d'années que le chrome a fait son apparition

dans l'industrie de l'acier ; je crois que les premiers essais ont été faits aux Etats-Unis, à Brooklyn. Nous n'avions aucun renseignement sur cette fabrication quand nous avons commencé à l'étudier. Nous avons tâché d'étudier les différences d'aspect que produisent les différences de teneur en chrome, en carbone et en silicium. Le chrome a une propriété, c'est de tous les métaux connus celui qui a le plus d'affinité pour le carbone. Ainsi, on peut arriver à avoir un carbure de chrome qui renferme jusqu'à 10 p. °/₀ de carbone. Son aspect varie bien plus avec sa teneur en carbone et en silicium qu'avec sa teneur en chrome ; lors du passage par refroidissement du carbone de l'état combiné à l'état dissout, l'aspect de la cassure change beaucoup aussi. Lorsque la teneur atteint 30 p. °/₀ environ de chrome, une séparation en deux parties semble se produire, ce qui tend à faire croire qu'il y a un carbure de chrome. Par le refroidissement lent de l'alliage, à 25 p. °/₀ environ, il se forme dans la masse des aiguilles blanches. Quand le métal est très riche en chrome, quand il a, par exemple, une teneur de 70 ou 80 p. °/₀ et qu'il est en même temps saturé de carbone et de silicium, il cesse à peu près d'être magnétique. L'Exposition présente des collections de ferro-chromes fort intéressantes, notamment celle de la Compagnie des hauts-fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer. Le chrome peut être introduit dans l'acier en toute espèce de proportion ; les aciéries d'Unieux exposent un échantillon de fonte qui représente la limite entre la fonte et l'acier ; il renferme 12 p. °/₀ de chrome, à peu près 2 p. °/₀ de carbone et peut se forger ; c'est une forte teneur en chrome. La propriété principale qui, d'après notre expérience, caractérise l'addition de chrome dans les aciers, c'est d'augmenter la ténacité et la résistance à la rupture,

sans modifier les autres qualités de l'acier, c'est-à-dire que l'acier chromé une fois obtenu peut être forgé et travaillé comme un acier ordinaire. L'acier chromé à l'état de fusion a une grande tendance à s'oxyder à la surface ; mais le chrome ne forme pas, comme le manganèse, un silicate fusible et liquide. Il donne lieu par son oxydation à l'air à une peau ; peut-être y a-t-il une tendance à produire un chromite de fer ? Il y a là des inconvénients qu'il faut éviter dans la fabrication des aciers chromés.

Nous avons fait des tentatives pour souder les aciers chromés à la façon ordinaire avec ou sans borax, mais dès que la proportion de chrome est un peu sensible, ils se soudent mal ou ne se soudent pas du tout ; c'est un des inconvénients que peuvent présenter ces aciers. Ils prennent une trempe plus vive que les aciers au carbone et en même temps les parties non trempées gardent une grande ténacité, ce qui donne une solidité plus considérable à l'ensemble. En résumé, depuis 18 ans d'expérience, je considère que l'introduction d'une certaine quantité de chrome dans les aciers réalise dans l'industrie des progrès dont le caractère est surtout de donner une grande résistance et une grande sécurité aux aciers qui ont été convenablement chromés.

M. le Président. — Personne ne demande la parole sur cette question ? Nous passons alors aux alliages des métaux autres que le fer et spécialement du cuivre.

M. Greiner. — Avant de quitter cette question si importante de l'acier, il serait peut-être utile pour certaines personnes d'avoir quelques informations un peu plus complètes sur ce qui vient de nous être dit concernant l'aluminium et le chrome. M. Brustlein nous a donné des renseignements sur le chrome ; il nous a

dit que le chrome dans telles proportions donnait tel caractère à l'acier, mais en ce qui concerne l'aluminium nous n'en avons entendu parler que vaguement. Cependant ce métal, si je dois croire ce que j'ai vu à l'Exposition, donne à l'acier un caractère tout à fait extraordinaire également. Les mélanges d'acier sont désirés par l'industrie métallurgique, chacun le sait et il serait utile que les métallurgistes vinssent s'entr'aider un peu — à moins que la concurrence ne le permette pas — pour arriver à remplir le *desideratum* du mécanicien. Nous avons essayé l'aluminium et obtenu des moulages extrêmement bien faits; mais dans le produit moulé nous n'avons pas trouvé d'aluminium! (*Rires.*) — Je demande si quelqu'un peut nous donner des renseignements. Je ne sais si ma question est indiscrète, mais je désirerais m'éclairer, étant venu à ce Congrès un peu pour cela. L'aluminium, d'après ce que j'ai vu, donne aux aciers ce caractère extraordinaire d'éviter les soufflures; à quoi cela tient-il? On ne s'est pas expliqué sur ce point. On prétend aussi que l'aluminium recherche l'oxygène partout dans le métal, mais les expériences que nous avons faites ne nous ont jamais permis d'en trouver! Nous avions eu la pensée, à un moment donné, et à l'occasion de questions de soudage, que certains aciers n'étaient pas soudables, parce qu'ils contenaient de l'oxyde de fer; or, nous n'avons pas pu parvenir à en trouver avec les appareils les plus perfectionnés que la chimie mettait à notre disposition. Est-ce que l'aluminium peut échapper aux investigations de la chimie? Je ne sais, mais j'exprime le désir d'être éclairé à ce sujet. D'un autre côté, on a attribué à un phénomène physique l'action que l'aluminium produit par son mélange, dans le métal; on a dit que son point de fusion étant au-dessous du point de fusion de l'acier, l'aluminium aurait cette propriété

de laisser ce dernier métal plus longtemps en fusion, c'est-à-dire de former un alliage dont la chaleur spécifique est moins grande et de produire un métal qui se coule mieux. C'est une explication ; je ne sais ce qu'elle vaut ; quelque membre du Congrès peut-il donner un renseignement à ce sujet ?

M. Gautier. — M. Greiner vient de nous dire qu'il résulte de ses expériences qu'il n'a pas été trouvé d'oxygène dans le fer ; je rappellerai, à cette occasion, qu'il existe des procédés de réduction par l'hydrogène qui ont permis de trouver une quantité notable d'oxygène dans l'acier.

M. Greiner. — Nous avons trouvé de l'oxygène dans le fer, et sa présence dans ce métal s'explique par la réduction des silicates, mais je n'ai pas trouvé d'oxygène dans les aciers, c'est-à-dire dans le métal fondu, et, en tout cas, s'il en existe, il s'y trouve en si faible quantité qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte.

M. Gautier. — M. Binder en a trouvé 3 ou 4 millièmes, par le procédé de réduction par l'hydrogène.

M. le Président. — Personne ne demandant plus la parole sur la question des alliages ferro-métalliques, nous passons à l'étude des alliages des métaux autres que le fer.

M. Manne. — Messieurs, il y a dans le rapport sur les nouveaux alliages industriels, qui vous a été présenté par M. Lazare Weiller, un point relatif à l'objet que la Commission m'a demandé de traiter, qui demande à être relevé. Ce rapport attribue l'invention du bronze phosphoreux à M. le docteur M. Kuntzel ; or, M. le docteur Kuntzel a été effectivement un des col-

laborateurs de l'invention, mais l'inventeur a été M. Charles-Montefiore Lévy. Le rapport de M. Lazare Weiller contient encore le passage suivant :

« La présence du phosphore rend ordinairement les bronzes cassants, mais s'il ne leur est incorporé que dans la proportion nécessaire pour réduire l'oxyde contenu dans le métal, il produit une sorte de nettoyage, qui donne de la dureté à l'alliage sans le rendre cassant. »

Il y a là autant d'erreurs que de mots. Lorsqu'avec une proportion considérable de phosphore on peut donner assez de ductilité au métal pour que, avec une résistance à la traction dépassant 40 kilog. par millimètre, il garde un allongement de 70 p. °/₀ à la rupture, on n'a pas fait un alliage cassant.

Maintenant, je vais passer à la note que j'ai rédigée, à la demande du Comité d'organisation, et si vous voulez bien me le permettre je crois qu'il serait préférable que je vous donnasse lecture de ce travail si ce n'est pas trop abuser de votre temps.

M. Manne donne lecture de la note sur le bronze phosphoreux, qu'il a rédigée avec M. Vinçotte.

M. Guillemain. — M. Manne vient de nous dire, à propos des études de M. Montefiore et des matières susceptibles de désoxyder le bronze, qu'il avait dû renoncer à l'emploi du manganèse; il serait peut être intéressant de rechercher la cause de cet insuccès. Nous trouvons dans les expériences qui ont été faites à la marine, en 1872 ou 1873, un essai assez curieux : quand on a cherché justement à se rendre compte de l'influence des proportions variables de manganèse introduites dans le bronze, on a ajouté au moyen de cupromanganèse des quantités de manganèse variables de 0,50 à 0,75 et 1 p. °/₀; on fondait alors comme d'ha-

bitude ; en analysant le produit obtenu, on ne constatait pas de disparition de manganèse. Par conséquent, il semble en résulter que le manganèse, dans ces conditions, ne désoxyde pas. Je tenais à dire cela, parce que l'orsqu'on associe au manganèse un peu de phosphore, c'est tout à fait différent; il se produit là un phénomène comparable à celui qui se passe dans l'acier en présence du silicium.

M. Manhès. — Dans les expériences que j'ai faites sur le manganèse, j'ai ajouté du cupro-manganèse à 30 p. °/₀ et à 70 p. °/₀ de cuivre et j'ai constaté que la proportion de manganèse diminuait des trois quarts ; il restait toujours des traces de manganèse, parce que j'arrêtais un peu plus tôt qu'il n'eût été nécessaire pour désoxyder complètement, mais je constatais que le manganèse diminuait beaucoup et que la scorie, au contraire, en contenait une grande quantité. Il y a dans ce qu'on vient de dire une erreur évidente, car il me paraît impossible que le manganèse contenu dans le métal ne s'oxyde pas.

M. Gautier. — M. Manne vient de nous faire une communication intéressante sur le bronze phosphoré, mais qui manque de renseignements au point de vue scientifique pour les gens qui ne s'occupent pas spécialement du cuivre. Dans leurs travaux importants, M. Montefiore et ses collaborateurs ont certainement dû avoir des vues théoriques sur le rôle du phosphore dans le bronze. Je partage l'opinion de M. Manhès sur la désoxydation du bronze. Il y a lieu de croire que le cuivre, comme le nickel, renferme de l'oxygène en dissolution ; il doit exister plusieurs procédés pour se débarrasser de cet oxygène, qui a des inconvénients. D'abord, il n'est pas libre, il est probablement combiné avec le métal, et produit des oxydes pâteux. Tout à

l'heure M. Manhès nous faisait observer que, dans les essais qu'il a faits, il avait constaté que le manganèse enlevait de l'oxygène au métal et qu'il disparaissait partiellement. Je crois que le phosphore doit avoir une action du même genre et je serais heureux surtout qu'on nous dît comment on incorpore le phosphore au bronze.

M. Manne. — Je vais d'abord suivre la pensée du collègue qui a demandé la parole tout à l'heure : M. Guillemain disait qu'il ne comprenait pas comment nos essais avaient été faits. J'ai ici l'ouvrage dont j'ai parlé tout à l'heure et là M. Gautier trouvera également le renseignement qu'il demande ; il y verra qu'on fixe le phosphore sous forme de phosphure d'étain ou de cuivre ; mais voici un premier essai : nous avons ajouté, à 95 p. °/₀ de cuivre pur, 5 p. °/₀ de manganèse et dans la barre il y avait 4,42 de manganèse. Dans un autre essai il y avait 90 de cuivre et 10 p. °/₀ de manganèse ; il est resté dans la barre 9,22 de manganèse. Dans un bronze à 5 p. °/₀ d'étain où nous avons ajouté 5 de manganèse, il est resté dans la barre 4,63 de manganèse. Dans un bronze à 10 p. °/₀ d'étain, auquel avait été ajouté 5 de manganèse, il restait 4,72 de ce dernier métal. Vous trouverez ces renseignements en vous reportant à l'ouvrage que j'ai cité dans ma note. Vous y trouverez également tous les autres renseignements que vous désirerez. Voilà les résultats obtenus. Y a-t-il eu erreur dans la méthode ? Je ne sais. Le Comité d'organisation nous a demandé de faire un travail sur le bronze phosphoreux ; nous avons cru devoir indiquer la genèse de cette industrie, montrer comment le bronze phosphoreux est né et est arrivé successivement au point où nous en sommes.

M. Manhès. — Il semble résulter des chiffres qui

viennent d'être indiqués que la plus grande partie du manganèse reste dans l'alliage ; il s'agirait de savoir, pour expliquer ce fait, dans quel état d'oxydation se trouve le cuivre auquel on incorpore ce manganèse.

M. Manne. — Les éprouvettes obtenues avec du cuivre du commerce ne sont pas homogènes ; les résultats manquent de régularité.

M. Manhès. — En ce qui concerne mes essais, je peux affirmer que j'ai constaté le départ du manganèse en proportion correspondante à celle de l'oxygène contenu dans le cuivre et que, comme synthèse, j'ai toujours trouvé de l'oxyde de manganèse sur les parois des vases.

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il encore la parole? Non. Alors je demande la parole à M. Freundler pour une communication sur le métal delta.

M. Freundler. — Messieurs, dans son rapport sur les nouveaux alliages industriels des métaux autres que le fer, présenté par M. Lazare Weiller, quelques pages ont été consacrées au métal delta ; il y est dit que ce nouvel alliage a pris une certaine importance dans les applications industrielles. Je dois confirmer le dire de votre rapporteur, et c'est même en raison de l'importance de ce nouvel élément apporté par la métallurgie à l'industrie que je désire vous éclairer d'un façon brève, mais aussi nette que possible sur ce sujet.

Depuis longtemps, le besoin s'était fait sentir dans l'industrie de posséder un composé métallique ayant les propriétés du fer et celles de l'acier, mais à l'abri de la rouille, de la corrosion et de toute altération molléculaire (cristallisation) qui tendent à diminuer rapidement la résistance des métaux précités.

Le fer et ses dérivés offraient donc les qualités de résistance mécanique, tandis que le cuivre et les alliages qui en dépendent possédaient la résistance aux agents chimiques. Il était tout indiqué de chercher un moyen terme participant à ces deux séries de propriétés et partant excluant leurs principales infériorités.

Jusqu'à ce jour les essais d'alliage de fer contenant une partie de cuivre même minime n'ont pu satisfaire à ce desideratum et donner naissance à un résultat industriel.

Au contraire, l'introduction du fer dans les alliages de cuivre et spécialement dans les laitons fit entrevoir aux métallurgistes de nouveaux horizons. (Les Chinois les premiers en firent l'observation. En 1779, Kinz ; en 1840, Sorel, en France, au sujet de son laiton blanc ; en 1850, Stirling ; en 1860, Aich, en Angleterre, et le baron Rosthorn, à Vienne, à propos du stero-métal, étudièrent la question.)

Mais tous les efforts échouèrent devant une incertitude des procédés à employer pour obtenir un alliage parfaitement homogène et régulier dans sa composition comme dans ses propriétés.

Ce n'est qu'en 1883 que M. Alexandre Dick, ingénieur danois, qui s'est longtemps occupé de la métallurgie du cuivre et principalement du bronze phosphoreux, résolut la question d'une façon remarquable à tous égards.

Depuis cette époque, l'industrie de cet alliage nouveau, nommé par son inventeur le métal delta (d'après la 1re lettre de son nom) s'est développée en Angleterre et n'a pas tardé à être sur le continent l'objet d'une attention si sérieuse que plusieurs grandes Sociétés se sont constituées, afin d'exploiter les brevets de M. Dick. Notamment, en France, une Société ayant son siège à Paris, ses usines à Saint-Denis et à Liège,

fournit à tous les besoins de l'industrie française le métal delta dont elle a aussi l'exploitation pour la Belgique et la Hollande.

Le métal delta type est d'une composition définie que l'on peut en nombres ronds indiquer ainsi :

Cuivre	55 p. %
Zinc	41 p. %
Fer et éléments auxiliaires . . .	4 p. %

Le delta participe aux propriétés du Minitz, mais possède, en outre, des qualités qui le rendent comparable au fer et à l'acier qu'il remplace même avantageusement dans bien des cas. Le fer donne en effet à cet alliage la résistance mécanique et les propriétés du laiton, premier titre pour le travail à froid.

La grande teneur en zinc le rend extrêmement fluide à la coulée et malléable à chaud,comme le plomb. Une teneur en fer trop grande diminuerait certaines propriétés du métal.

Entre autres procédés appliqués pour composer le delta et en former un alliage parfait, celui de la dissolution du fer dans le zinc est préféré, puis l'adjonction de ce produit au cuivre se réalise par simple fusion en présence du manganèse, qui a sur le phosphore l'avantage de ne pas rendre le métal cassant tout en le désoxydant.

A côté de cet alliage type, quelques dérivés ont été créés pour répondre à des desiderata spéciaux, mais aucun d'eux ne possède aussi complètement les qualités de l'alliage précité et ne comporte à un aussi haut degré la propriété remarquable de pouvoir se prêter à la fois à toutes les transformations et applications dont les autres alliages et métaux usités actuellement sont susceptibles partiellement. Ils ont en outre l'inconvénient de ne pas être d'un prix de revient aussi

bas que le delta type, qualité très appréciable en industrie.

Le delta a pour densité 8,4, il est fusible à 950°, il a une belle couleur jaune vieil or et prend un beau poli dont l'éclat ne se ternit pas à l'air. Il est sans action magnétique et ne produit pas d'étincelle au choc. Il ne se trempe pas et ne cristallise pas après usage.

Sa ductilité et sa malléabilité sont très grandes. Sa ténacité et sa résistance sont égales et même supérieures dans certains cas à celles de l'acier.

Sans modifier la composition, mais simplement par l'écrouissage et le recuit, on donne au delta tous les degrès voulus de malléabilité, de la douceur du cuivre rouge le plus mou à la rigidité et l'élasticité de l'acier trempé.

Nous passerons rapidement en revue les divers modes de travail appliqués au delta.

Fonderie. — Le delta devient très rapidement liquide lorsqu'il atteint son point de fusion (950°). Il devient d'une fluidité telle que l'on peut obtenir des moulages plus fins que ceux fournis par l'un quelconque des alliages de cuivre actuellement connus.

Les moulages en sable sont d'une délicatesse remarquable et le grain du métal très compact. Il est essentiel de ne pas surchauffer le métal et de ne pas l'amener au point d'ébullition, sans quoi on l'altère assez pour diminuer sa résistance, qui peut être comprise entre les limites de 25 à 40 kilog., par millimètre carré avec des allongements de 40 à 10 p. °/₀. Quelques tableaux d'essais sont intéressants à faire voir :

Essais faits en présence des délégués du Ministre de la Marine sur des barrettes prélevées sur lingots de métal delta fondu en coquille.

LIMITE D'ÉLASTICITÉ par m/m².	CHARGE DE RUPTURE par m/m².	ALLONGEMENT P. °/₀
30 kgs	42 kgs 3	38,8
30 » 6	42 » 6	36,5
29 » 2	42 »	40 »
30 »	42 » 2	32,2

Métal delta coulé en sable.
Eprouvettes venues de fonte avec les roues d'engrenage destinées au chemin de fer à crémaillère du Pilate.

CHARGE DE RUPTURE PAR m/m²	ALLONGEMENT P. °/₀
36 kgs	36
35 » 9	35,3
30 » 9	29,8
34 » 9	39,7

Dans plusieurs cas, les résistances du métal coulé en sable ont dépassé 40 kilog. et atteint jusqu'à 44 kilog. par millimètre carré.

Des essais comparatifs exécutés en présence des délégués du Ministre de la Marine aux usines de la Société commerciale et industrielle des Métaux ont fourni les résultats suivants :

ALLIAGES	RÉSISTANCE en kilog. par m/m².	ALLONGEMENT P. °/₀
Laiton 1er titre.....	35 kgs 5	17
Bronze à canons.....	17 » 5	7,5
Métal Delta.....	38 » 5	28

Les pièces les plus variées ont été exécutées en métal delta fondu, de l'objet le plus délicat en orfèvrerie jusqu'aux hélices de plusieurs tonnes, et les pièces les plus compliquées ont été exécutées avec un vrai succès.

Forgeage. — Le métal delta, porté à la température du rouge sombre, vers 5 à 600 degrés, devient mou comme du plomb, il se forge plus aisément que l'acier, à tel point que certaines pièces sont plus avantageuses à forger qu'à couler. Il faut éviter de brûler le métal, car au rouge cerise il tombe sous le marteau et s'effrite d'une façon caractéristique. Si on le martelle lorsqu'il redevient noir, il se crique et à un moment donné devient cassant comme du verre.

Entre ces deux limites, absolument démarquées, la marge est grande et largement suffisante pour que l'on puisse travailler le métal. Il en résulte que toute pièce parvenue à son achèvement est forcément bonne. Il faut éviter de frapper le métal à la séparation de la partie chauffée au rouge et de la partie restée noire, la différence de malléabilité (dureté plus grande que celle du bronze, d'un côté, et moindre que celle du plomb de l'autre) produirait une rupture inévitable.

Il faut aussi, lorsque la pièce a une certaine longueur et qu'elle ne peut être maintenue entièrement au rouge, éviter qu'elle fouette.

Ces quelques particularités une fois observées, on se rend facilement maître du travail, qui est d'ailleurs fort simple.

Les résistances des pièces forgées peuvent se définir ainsi :

	RÉSISTANCE en kilog. par m/m carré.	ALLONGEMENT P. °/.
Métal simplement mis à la forme au rouge sombre.	40 kgs	45
Métal écroui à chaud.....	50 à 60 kgs	40 à 30
» martelé et écroui à froid	60 à 70 kgs	30 à 10

Quelques exemples sont intéressants à citer :

Fourniture de 12 arbres pour hélices de canots à vapeur (à la Marine).

6 Essais ont été effectués en 1887.

RÉSISTANCE EN KGS PAR m/m²	ALLONGEMENT P. °/.
40 kgs	40,5
39 » 3	42
40 »	39,5
39 » 4	43,5
40 »	41,5
39 ·	45,5

Fournitures de boulons pour dynamos, au Creusot, en 1887.

RÉSISTANCE EN KGS PAR m/m²	ALLONGEMENT P. °/.
52k,2	28,5

Essais effectués à Hellemmes en août 1887 aux ateliers du Chemin de fer du Nord.

RÉSISTANCE EN KGS PAR m/m²	ALLONGEMENT P. °/.
53 kgs 1	23
53 » 4	26
55 » 1	28,5
55 » 1	27,5

Essais de tiges de soupapes
livrées à la Ushside Engineering et Rivet C°.

Résistance en kilogs par m/m².... 54,46
Allongement p. °/₀ 30

Essais effectués par la Maison Vollot et Badois.
Barrettes forgées et martelées à froid.

RÉSISTANCE EN KGS PAR m/m²	ALLONGEMENT P. °/₀
65 kgs 75	13
62 »	12
64 » 35	13

Des tiges de pompes pour mines ont été fournies à la maison Farcot. Quelques-unes avaient 5 mètres de longueur et un diamètre moyen de 60 millimètres.

Le métal employé pour la forge est livré au commerce sous forme de lingots fondus en coquille, et sous le nom de *billettes*, de diamètres divers et de poids pouvant atteindre jusqu'à 1 tonne.

Estampage. — Les propriétés indiquées pour le forgeage sont utilisables pour les pièces estampées avec grand avantage en raison de la malléabilité du métal porté au rouge sombre. Le fini des objets estampés en delta est plus grand que celui de l'acier et d'une perfection qui évite pour les pièces à répétition tout finissage autre que le décapage et le polissage et permet ainsi une économie notable sur la fonderie des mêmes pièces, tout en offrant des qualités supérieures.

La résistance du delta estampé peut varier de 50 à 60 kilog. par millimètre carré avec un allongement de 40 à 30 p. °/₀.

Laminage. — On comprend tout de suite que le laminage à chaud du delta doit être remarquable.

Pour les planches, l'épaisseur peut être réduite du simple au tiers en une seule passe.

Le laminage à froid, par contre, s'opère moins rapidement que celui du laiton, il faut environ augmenter de 1/3 le nombre des recuits, mais on obtient des tôles plus résistantes et plus élastiques que celles d'acier.

Quant aux barres, le laminage au rouge sombre de billettes de 50 à 60 millimètres de diamètre, lorsqu'il est bien conduit, permet de réduire en une seule série de passes le métal en fils de 10 et même 7 millimètres de diamètre.

L'écrouissage s'opère à froid, comme pour les planches. Les résistances peuvent s'évaluer ainsi :

	RÉSISTANCE en kilog. par m/m²	ALLONGEMENT p. °/₀.
Barres et planches laminées à chaud	50 à 60 kgs.	30 à 15
» » écrouies à froid..	60 à 70 »	20 à 10
» » recuites.....	40 à 50 »	45 à 30

Etirage, tréfilage. — Le delta, en lames profilées ou barres, s'étire à froid et peut être descendu par des passes successives variant de 2 1/2 à 5/10 millimètres suivant l'écrouissage que l'on désire.

Le tréfilage en fils fins s'opère exactement comme celui de laiton, sans nécessiter plus de passes.

Les résistances sont :

	RÉSISTANCE en kilog. par m/m²	ALLONGEMENT p. °/₀.
Fil étiré ordinaire	70 à 80 kgs.	15 à 5
» » écroui	80 à 100 »	5 à 2
» » recuit	50 à 60 »	45 à 30

Les tubes en métal delta peuvent être laminés lorsqu'il s'agit de diamètres de 100 à 300 millimètres carrés avec 5 à 30 millimètres d'épaisseur, au moyen de 4 cylindres profilés en quart de cercle, un mandrin étant placé à l'intérieur. Ce procédé permet un très fort écrouissage et réduit le prix de revient à peu près à celui des barres laminées, à condition bien entendu que, comme pour l'estampage, il y ait assez de pièces à produire pour amortir les frais d'outillage.

Les tubes peuvent aussi s'étirer au banc comme pour le laiton, mais en augmentant un peu le nombre des passes.

Les tubes que l'on obtient ainsi ont des résistances égales à celles de l'acier et possèdent l'immense avantage de ne pas éclater comme ce dernier, si la pression dépasse la normale; un bousoufflement et une déchirure mettent entièrement à l'abri des accidents auxquels sont sujets les tubes d'acier.

Un tube de 52 millimètres de diamètre extérieur, épaisseur $2^{m}/^{m},25$, ne s'est rompu que sous une pression de 350 kilog. par centimètre carré.

Un tube de 41 millimètres de diamètre extérieur, épaisseur $1^{m}/^{m},8$, s'est rompu sous une pression de 450 kilog. par centimètre carré.

Un tube de 120 millimètres de diamètre extérieur a subi une déformation élastique de $1^{m}/^{m},25$ sur la circonférence.

Un autre tube de 132 millimètres de diamètre extérieur et de $2^{m}/^{m},5$ d'épaisseur n'a subi à la circonférence qu'une déformation de $1^{m}/^{m},25$ sous une pression de 154 kilog. par millimètre carré.

Des tubes soudés et étirés de très grande résistance sont aussi exécutés en delta.

Martelage, repoussage, emboutissage. — Ces opé-

rations s'exécutent aussi bien avec le delta qu'avec le laiton. Le métal étant plus résistant permet d'employer des tôles plus minces et partant de diminuer le poids des objets fabriqués.

Telles sont les principales propriétés du métal delta au point de vue des résistances mécaniques et des facilités de travail qu'il possède.

Si l'on ajoute à cela les remarquables qualités qu'il offre en présence des agents atmosphériques et chimiques, on comprendra facilement que le champ de ses applications n'est pas limité.

Il résiste supérieurement par son inoxydabilité à l'action de l'air humide, de la vapeur ; il est presque inattaquable à froid, à l'acide sulfurique et à l'acide chlorhydrique.

Le delta résiste deux fois plus à l'eau de mer que le Minitz.

En présence des eaux sulfureuses de mines, il a donné des résultats extraordinaires et, après immersion de 6 mois, le fer et l'acier essayés comparativement avaient perdu moitié de leur poids, tandis que le delta était resté intact, portant encore la trace des coups de lime qu'il avait reçus avant l'expérience.

Ces résultats ont provoqué le remplacement par le delta :

1° Du bronze qui servait aux organes de machines et robinets exposés aux eaux sulfureuses des mines en question ;

2° Des clous de boisage et des câbles en fer galvanisé que l'on employait jusqu'alors et dont la résistance mécanique était inférieure de moitié à celle du delta.

Le laiton ne pouvait être employé pour ces usages, d'autant plus qu'il devient cassant comme l'acier, après

un certain temps d'usage, grâce à une cristallisation moléculaire dont le delta est exempt.

Soudures du delta. — La soudure ordinaire du cuivre peut convenir. Pour les opérations délicates, une soudure en delta à base d'argent permet d'obtenir un résultat parfait.

Les procédés de soudures autogènes par le chalumeau oxhydrique et par l'électricité ne laissent rien à désirer et réussissent parfaitement et même mieux encore avec le delta qu'avec aucun autre alliage, en raison de la propriété qu'il possède de n'être sensible à l'action de la chaleur que lorsqu'il est porté au rouge et de ne pas s'altérer comme le laiton lorsqu'il est soumis plusieurs fois à une température élevée.

L'action de ce genre de soudure ne se fait sentir que sur un espace très minime et ne recuit le métal que sur une faible largeur. Encore peut-on l'écrouir après l'opération. La soudure n'est pas visible après l'opération.

Nous croyons inutile d'insister sur les applications multiples dont le delta est susceptible et sur les avantages que présente son emploi dans l'industrie.

Cependant signalons encore la facilité toute particulière avec laquelle il se soude à la fonderie et que ne possédent pas à un aussi haut degré les autres alliages de cuivre. On peut aussi couler certaines pièces délicates en plusieurs fois, exécuter des pièces de forge ajourées et les souder ensemble, puis les marteler, car le delta ne se soude pas à la forge.

On a soudé ainsi avec plein succès des blocs de delta sur des tôles de même métal de 6 millimètres d'épaisseur.

Pour les tubes à bossages, ce procédé permet d'avoir un métal aussi résistant que l'acier et exempt de soufflures difficiles à éviter à la fonderie pour ce genre de pièces.

Des tubes étirés ou formés de tôles écrouies et soudées sont mis en sable et l'on coule les bossages moulés préalablement sur ces tubes ; ces parties peuvent être ensuite forgées et récrouies à froid.

Certaines pièces ne pouvant être entièrement forgées, on les coule d'abord et on forge ou estampe ensuite les parties qui en sont susceptibles, ainsi que cela se pratique pour les organes de torpilles Whitehead.

La grande résistance des fils de delta en fait un élément de premier ordre pour remplacer le laiton dans la confection des toiles métalliques pour papeteries et industries diverses.

Pour les mines, le fer et l'acier galvanisé sont avantageusement remplacés par le delta et procurent une plus grande durée et aussi une plus grande sécurité.

Pour les lampes de mineurs, les toiles en fer se rouillent, celles en laiton se détériorent aussi, celles de delta que l'on essaie actuellement permettront sans doute un nouveau progrès au point de vue de la sécurité dans l'usage de ces appareils dont l'étude est à l'ordre du jour.

Disons quelques mots sur les qualités que présente le delta grâce à sa résistance élastique égale à celle de l'acier et que l'on obtient par l'écrouissage sans nécessiter la trempe et sans en avoir les inconvénients.

En effet, la trempe n'est pas toujours parfaite et se détruit sous l'action de la chaleur, des trépidations, etc.

Les ressorts à boudin en delta en fils ronds et surtout ceux en fils carrés de 10 à 20 millimètres de côté et plus ont donné à tous les essais des résultats identiques à ceux des mêmes ressorts en acier trempé. Ils ne se rouillent pas et conservent après un long usage leurs propriétés, ce qui n'est pas toujours le cas pour l'acier, surtout lorsqu'il est soumis à des chocs et à la corrosion.

La limite d'élasticité du delta varie du tiers aux deux tiers de sa limite d'écrouissage.

Une barre de 25 millimètres de diamètre a présenté :

LIMITE D'ÉLASTICITÉ en kilog. par m/m².	RÉSISTANCE EN KILOGS par m/m².	ALLONGEMENT P. °/₀.
46 kgs	59 kgs 07	12,5

Enfin pour les frottements le delta fondu offre une durée de un tiers supérieure à celle du bronze ordinaire.

Un alliage spécial, analogue au chrysobronze, rivalise avec le bronze phosphoreux.

Pour les arbres soumis à des chocs, on ne peut rien trouver de préférable au métal blanc étendu en couches minces sur des corps de coussinets en delta forgé.

Le delta offre une résistance à la compression double de celle du bronze à canon.

Des barres écrouies de 30 à 20 millimètres de diamètre ont offert à l'écrasement une résistance de 90 à 120 kilogrammes par millimètre carré, et la déformation élastique sous l'effort de compression ne s'est manifestée qu'au-delà de 30 kilogrammes par millimètre carré.

En résumé, si l'on considère :

Que le delta possède les qualités de l'acier jointes à celles des bronzes et des laitons ;

Qu'il offre des facilités de travail exceptionnelles et qu'en outre il est d'un prix de revient inférieur à celui du bronze au titre ;

On conviendra facilement qu'il est aujourd'hui le premier de tous les alliages connus qui ne possèdent que partiellement quelques-unes des qualités qui caractérisent ce composé métallique.

Il était intéressant d'esquisser à grands traits les propriétés remarquables de cet alliage, déjà bien répandu dans l'industrie européenne et qui constitue un grand pas fait en avant dans l'art de la métallurgie.

M. Lattès. — Je demande la permission de présenter une observation au sujet de la fabrication de l'aluminium. On lit à la page 39 du rapport sur les alliages industriels de métaux autres que le fer : « Il y a lieu de donner une mention spéciale à une méthode imaginée par M. A. Minet et exploitée par M. Bernard. » Je tiens à faire connaître que l'auteur du procédé est un électricien très connu, M. Lontin ; cet ingénieur étant mort, je considère comme un devoir de défendre ici sa mémoire. (*Approbation.*)

M. Gautier. — Une chose me frappe dans cette question de métal delta : c'est la différence entre les analyses ; dans une on nous dit que le métal renferme de 0,08 à 1,28 de fer et dans l'autre 4 p. °/₀. On a parlé des qualités remarquables que possède cet alliage, je suis étonné, au point de vue théorique, que ces propriétés si diverses puissent être obtenues avec un alliage dont la teneur en fer varie de 0,08 à 4 p. °/₀. Je trouve qu'il y a là quelque chose de très curieux qui demanderait un éclaircissement.

M. Freundler. — Je ne connais pas la provenance des échantillons auxquels M. Gautier fait allusion. Peut-être y avait-on ajouté quelque chose ? Je sais qu'il a même été fait des combinaisons de delta, de nickel, etc. Mais théoriquement l'alliage ne comprend que du cuivre, du zinc, du fer et du manganèse. On a ajouté d'autres corps encore, mais ce n'est pas la règle générale. Ainsi on a ajouté quelquefois du plomb, parce que ce métal donne plus de douceur au laminage. Mais le

plomb est très nuisible, car au bout d'un certain temps le métal laminé devient cassant. Quant à la teneur en fer, elle varie de 2,3 p. °/₀ jusqu'à 3 et demi, rarement plus ; j'ai indiqué 4 p. °/₀ en comprenant le fer, le manganèse et les impuretés.

M. Gautier. — Est-ce que vous donnez une analyse de ce métal ?

M. Freundler. — J'indique 4 p. °/₀. En réalité, la teneur est de 3,3 1/2 ; elle a pu varier de 1 à 3 1/2, nous avons eu des compositions assez différentes qui ont donné des propriétés différentes également ; c'est le cas de tous les alliages.

M. Gautier. — Nous n'avons pas l'intention de faire du métal delta, mais nous nous intéresserions davantage au but poursuivi si nous savions quelque chose de plus.

M. Manne. — Notre collègue n'a-t-il pas dit tout à l'heure que le métal delta n'était pas magnétique ?

M. Freundler. — C'est un fait d'observation.

M. Manne. — Donc le fer dans le métal delta perd ses propriétés magnétiques. Je tiens à signaler ici que le gros ennui des constructeurs d'appareils d'électricité c'est de se procurer des bronzes ne renfermant pas une trace de fer, parce que dans tout bronze, jusqu'ici, le fer a gardé ses propriétés magnétiques. On nous avait demandé à l'académie de Berlin de tâcher d'arriver à produire un bronze ne renfermant pas une trace de fer. Par une série d'opérations, nous avons obtenu du bronze où l'on ne trouvait pas de trace de fer lorsque nous prenions de petites prises d'essai, mais lorsque nous prenions de grandes prises nous trouvions encore des traces de fer qui étaient suffisantes pour avoir une influence sur les appareils magnétiques.

M. Freundler. — Je n'ai pas fait d'expériences à ce sujet.

M. Manne. — Mais au moins lorsque la teneur en fer est considérable, votre métal doit être très sensiblement magnétique.

M. Freundler. — L'expérience a prouvé que non.

M. Manne. — C'est pour cela que j'ai posé la question. C'est donc un fait d'observation ?

M. Freundler. — C'est un fait d'observation ; en Angleterre, où il a été fait des essais sérieux à ce point de vue, on m'a toujours dit que le delta n'était pas magnétique.

M. Manne. — J'avais constaté, de mon côté, que le fer avait la mauvaise habitude de garder ses propriétés magnétiques dans tous les alliages. *(Rires.)*

M. Guillemain. — Si dans le métal delta on remplace le fer par un mélange de manganèse et de cobalt avec un peu de phosphore on arrive alors à des résultats bien supérieurs au delta ; on a obtenu ainsi, avec des barrettes prises dans des pièces brutes de fonderie, et non forgées, une résistance de 56 kilog. avec un allongement de 10 p. °/₀.

M. Lodin. — Faut-il beaucoup de cobalt ?

M. Guillemain. — Il n'en faut pas un pour cent.

M. Manhès. — Comment se procure-t-on le cobalt ?

M. Guillemain. — On le trouve dans le commerce sous forme de grenaille contenant 50 de cobalt et 50 de cuivre.

M. le Président. — Aucun membre ne désirant plus prendre la parole sur la question des alliages des métaux autres que le fer, l'ordre du jour appelle la com-

munication de M. Van Langhenove sur l'acier et le bronze d'aluminium au point de vue de la fabrication des canons de gros calibre.

M. Van Langhenove. — Messieurs, la communication que j'ai à vous faire relativement à l'emploi du bronze d'aluminiun pour les canons de gros calibre ayant un certain développement, je vous propose, vu l'heure avancée, de la remettre à la séance prochaine.

Plusieurs membres. — Non ! Continuons. Lisez votre travail !

M. Van Langhenove. — Messieurs, le but que je poursuis en vous soumettant cette note c'est d'appeler votre attention sur l'importance du bronze d'aluminium tel qu'il vient d'être mis dans le commerce par la *Cowles smelting and aluminium C°*.

Malgré les paroles si élogieuses que lui a décernées M. Castel dans son allocution de bienvenue, je viens aujourd'hui, surtout au point de vue de la fabrication des canons de gros calibre, faire devant vous le procès de ce métal indéfinissable que l'on appelle l'acier et, comme conséquence, réclamer votre haut et puissant patronage en faveur d'un nouveau-né : le bronze d'aluminium.

Je n'ignore pas que je vais heurter les sentiments d'une grande partie des membres de cette brillante assemblée, mais bien que beaucoup d'entre eux ne voudront pas être convertis, j'espère néanmoins amener leur conscience à reconnaître avec moi que si mon réquisitoire est accablant, il a le mérite d'être vrai.

Certes, l'acier, tel que nous le connaissons généralement, possède des propriétés remarquables et les éloges dont il a été couvert par l'éminent président du

Congrès sont, dans beaucoup de cas, absolument mérités.

Mais pour vous le présenter paré de tant de vertus, il a fallu l'habiller de façon à, pour ainsi dire, le déguiser à vos yeux et à noyer dans une longue énumération de ses emplois les applications dans lesquelles, si vous me permettez cette image, l'acier se présente sous la forme d'un métal à double face, un métal hypocrite qui tient ferme et haute son antique réputation dans beaucoup de cas, mais dans d'autres déserte lâchement et n'existe plus que sous la forme d'une matière indécise, sans valeur, n'offrant ni homogénéité, ni résistance, ni sécurité.

Pourquoi, Messieurs, l'acier a-t-il des qualités si remarquables dans un cas et pourquoi dans d'autres est-il le métal, ou si, pour être plus vrai, j'emploie la dénomination propre, est-il l'alliage le moins constant, celui dans lequel il est impossible d'avoir confiance ? C'est que dans une série de ses applications il n'est mis en œuvre qu'en masses relativement faibles, tandis que dans d'autres il est coulé, forgé, trempé ou recuit en masses considérables.

D'un côté nous trouvons les aciers destinés aux divers usages de la mécanique : arbres de transmission, manivelles, tôles, rails, outils, etc., et là l'acier règne en maître, ayant incontestablement détrôné le fer ; mais, d'un autre côté, nous avons les canons de gros calibre, les blindages, les cuirasses, etc., pour la fabrication desquels il est fait usage d'un métal dont le constructeur lui-même serait incapable souvent de vous donner la définition.

Messieurs, le sujet que j'aborde devant vous est d'une ampleur telle qu'il me serait impossible, dans le court espace qui m'est accordé, de vous en donner même un résumé ; la durée limitée des travaux du

Congrès m'oblige à n'esquisser que les propriétés absolument caractéristiques de l'acier pour arriver à vous faire partager ma conviction : que l'avenir de ce métal est absolument compromis, quant à ce qui regarde la fabrication des canons de gros calibre et même des diverses pièces d'artillerie, canons de campagne, de montagne, affûts, cuirasses, blindages, etc.

Je n'ai pas la prétention, Messieurs, d'apporter ici des faits nouveaux ; mon seul but est, en vous présentant l'acier tel qu'il est, de faire ressortir ses innombrables défauts. J'aurai donc à vous rappeler certains faits bien connus, mais dont j'ai besoin pour ma démonstration.

Je ne vous ferai pas l'historique de la fabrication des énormes engins de guerre, auxquels la puissance de production de plus en plus considérable de la métallurgie actuelle permet de donner une force destructive de plus en plus grande.

Mais si vous suivez l'échelle de la transformation des métaux qui ont servi de matières premières pour la fabrication des canons, nous nous trouvons aujourd'hui devant une situation semblable à celle devant laquelle nous nous trouvions il y a quelque vingt ans, quand l'acier commençait à prendre une place prépondérante dans la construction des armes de guerre. Alors, une série d'objections étaient soulevées, qu'une longue pratique n'a en rien affaiblies et qui restent toutes debout, absolues et entières.

L'importance des armements d'une nation, les énormes dépenses qu'ils nécessitent obligent à des tâtonnements toujours longs, à des progrès lents, à des décisions prudentes. C'est ce qui explique le peu de progrès relatifs que la fabrication des engins de guerre a fait, comparée aux autres branches de la métallurgie ou de la mécanique. Il est bien évident qu'il a fallu

que, à côté de la marche naturelle en avant de l'industrie sidérurgique et principalement de l'acier, de profondes manifestations du génie inventif de l'homme soient venues se placer pour qu'on ait pu réaliser ce qu'il y a 25 ans on osait à peine concevoir.

La découverte des procédés Bessemer, Martin, le mode de coulée introduit dans la pratique métallurgique par Krupp, l'emploi des volumineux marteaux-pilons, ou de puissantes presses hydrauliques, qui servent au martelage des blocs de métal, sont des éléments qui ont puissamment contribué à nous faire admettre comme possibles les produits que nous a donnés la fonte de masses en acier de 100 et de 110 tonnes.

Un événement qui, dans la sphère évidemment plus modeste des composés de cuivre, a apporté dans l'emploi des alliages de ce métal une perturbation profonde me fait entrevoir, dans un avenir peut-être très rapproché, la disparition des produits en acier et leur remplacement par les alliages forts du cuivre, et parmi ces derniers je place au premier rang les composés à base d'aluminium et leurs dérivés.

Je ne crois pas exagérer, Messieurs, en affirmant que le procédé électrique de MM. Cowles a apporté ou apportera dans la métallurgie des alliages de cuivre une perturbation analogue à celle de la découverte de l'éminent ingénieur M. Bessemer dans la métallurgie du fer, et je n'en veux pour preuve que les applications récentes, relativement très importantes, qu'a eues le bronze d'aluminium en Angleterre et en Amérique. Ni en France, où cependant le bronze d'aluminium est né il y a presque quarante ans, ni en Belgique, ni même dans l'Europe continentale, puis-je dire, nous ne constatons un emploi un peu sérieux de ces métaux nouveaux, et c'est parce que je connais à la fois et

l'accueil peu favorable fait aux nouveaux alliages de ce côté de l'Atlantique et leurs admirables propriétés physiques, que je satisfais au désir de M. Lazare Veiller dans sa remarquable notice sur les nouveaux alliages industriels des métaux autres que le fer, lorsqu'il dit :

« Nous allons en passer la liste en revue, en nous arrêtant seulement, avec quelques détails, à ceux qui, parmi ces derniers, sont susceptibles d'applications pratiques, tout en laissant le soin d'insister plus longuement sur leurs propriétés aux ingénieurs qui se sont plus spécialement occupés de leur fabrication et qui pourront fournir au Congrès, à cet égard, des renseignements précis et nouveaux. »

Représentant la Compagnie Cowles en France et en Belgique, j'ai suivi depuis sa naissance cette merveilleuse métallurgie, dont la simplicité n'est, je crois, égalée par aucune autre, et je puis fournir au Congrès les éléments les plus complets sur la valeur et les propriétés des composés à base d'aluminium. Il n'entre cependant pas dans ma pensée, Messieurs, de reprendre devant vous l'étude des divers alliages produits par la force électrique, ni celle de leurs propriétés physiques et chimiques ; je crois que les développements qui en ont été faits devant la plupart des associations savantes du monde par MM. Charston, Cowles, etc., en Amérique ; MM. Bracon, Boby et Crampton en Angleterre ; M. Bruel devant l'Association des ingénieurs électriciens à Paris, par divers autres savants à l'étranger et par moi-même devant l'Association des ingénieurs sortis de l'école de Liège et auxquels les journaux techniques ont donné la plus large publicité, sont connus de vous et vous sont devenus aussi familiers qu'à moi-même.

Je me bornerai à vous dire ce qu'est le bronze d'alu-

minium et ses dérivés et lorsque, en regard, je vous aurai montré l'acier sous sa forme vraie, je ne doute pas que vous ne soyez convaincus comme moi que, dans un avenir très rapproché, le bronze d'aluminium ne distance l'acier dans la plupart de ses applications.

Savons-nous seulement ce que c'est que l'acier ?

Aujourd'hui encore les ingénieurs ne sont pas d'accord sur sa définition et je ne chercherai pas à les départager.

Des hommes d'une grande valeur, tels que MM. Tunner en Autriche, Karsten en Allemagne, Greiner en Belgique, Percy en Angleterre, Gruner en France, nous donnent tous des définitions différentes et, Messieurs, presque tous semblent avoir raison.

Pourquoi ? Parce que l'acier, en tant que métal propre, spécial, définissable, n'existe pas ; ou, si nous admettons son existence, il se présente à nous sous des formes tellement diverses qu'il faut toute la sagacité, toute l'expérience de ceux qui en ont la pratique continuelle, pour ne pas se tromper.

Je n'ignore pas que, pour les fervents du culte de l'acier, je commets une véritable hérésie ; mais si ma propre affirmation reste sans grande valeur devant le monde métallurgique qui ne pense pas comme moi, encore est-il heureux que je trouve chez des hommes éminents une conformité de vues telle que je n'hésite pas à transformer mes affirmations en principes. J'aurai d'ailleurs l'occasion, dans le cours de ma communication, de citer quelques-uns d'entre eux et les appeler en témoignage de l'exactitude de mes assertions.

Cela est d'ailleurs si vrai que si nous cherchons ce qu'est l'acier au point de vue de sa composition chimique et de son état moléculaire, il nous est impossible de le reconnaître dans la plupart des cas.

Je prends deux barres dites en acier. A quoi puis-je reconnaître que c'est réellement de l'acier ?

Les éléments qui vont m'éclaircir seront tirés :

1° De l'analyse chimique ;
2° De la malléabilité à chaud et à froid ;
3° De la soudabilité ;
4° De l'état moléculaire, fondu ou non ;
5° De la trempe ;
6° Des propriétés physiques et mécaniques ;
7° Enfin, il est un dernier élément d'une importance considérable qui devrait intervenir, mais dont il n'est possible que dans certains cas déterminés de tirer parti : c'est le travail que la pièce a subi.

Cette simple énumération, Messieurs, vous donne tout de suite une idée de l'importance du sujet que je traite et vous montre les développements qu'il comporte. Rassurez-vous, je ne ferai que les effleurer et n'insisterai que très brièvement.

D'abord, examinons ce que sont les aciers au point de vue de leur composition chimique.

Pour arriver à un résultat précis et pour ne rien laisser d'obscur, il faudrait reprendre ici les dernières définitions qui ont été données de l'acier, ce qui nous éloignerait fort de notre sujet.

Je vous ai cité déjà MM. Tunner, Karsten, Gruner, Greiner, Percy ; il suffirait d'achever cette nomenclature par l'énumération de tous ceux qui se sont occupés de l'acier pour vous montrer combien sont nombreuses et profondes les divergences, chacun d'eux donnant une définition différente de ce qu'est le métal dont nous nous occupons, avec cette réserve que la plupart d'entre eux attribuent à la présence du carbone une influence prépondérante, car les auteurs les plus récents laissent dans l'ombre la composition chimique et appellent acier

du fer renfermant presque 1 1/2 p. °/₀ de carbone, comme ils appellent encore acier du fer qui n'en renferme absolument pas.

Je vous ai parlé de MM. Greiner et Tunner. Voulez-vous voir combien ils diffèrent entre eux : D'après le premier, l'échelle parallèle du classement des fers et des aciers s'établit comme dans le tableau suivant :

Teneur en carbone.			
0 à 0,15	0,15 à 0,45	0,45 à 0,55	0,55 à 1,50 p. °/₀ et plus.
Série des fers.			
Fers ord.	Fers à grains	Fers aciéreux ou aciers puddlés	Fers ou aciers cémentés. Aciers de Styrie.
Série des aciers.			
Acier extra tendre	Acier tendre	Acier demi-tendre	Acier dur.

Or, le second nous donne l'échelle suivante :

N° du classement.	*Teneur en carbone.*	*Qualité.*
N° 1.....	1,50 °/₀	Acier à outils.
2.....	1,25	
3	1,00	Acier mixte.
4.....	0,75	
5.....	0,50	Métal homogène.
6.....	0,25	
7.....	0,05	Fer fondu.

D'après M. Tunner donc, le fer qui renferme de 0,75 à 1,50 p. °/₀ et plus de carbone, est carrément de l'acier, tandis que celui qui n'en renferme pas, ou n'en renferme que 0,05 est du fer. En revanche, pour M. Greiner, un métal qui contiendrait 1,5 p. °/₀ de carbone peut être du fer au même titre que l'acier, et un autre métal qui n'en contiendrait absolument pas serait encore de l'acier. Je tiens à le dire tout de suite, M. Greiner établit la différence entre les deux variétés de métal par leur état moléculaire ou par la nature du traitement du fer. Il l'appelle acier s'il a été fondu, fer s'il n'a pas subi la fusion. Que conclure de ce qui précède, si ce n'est qu'un

métal qui se prête à une telle élasticité d'appréciations, qui est du fer même à une teneur de 1 1/2 p. °/₀ de carbone, mais déjà de l'acier, lors même qu'il n'en contient pas du tout, n'est pas un métal spécial, mais de la fonte décarburée ou du fer plus ou moins carburé, c'est-à-dire, comme j'avais l'honneur de vous le dire il y a un instant, un alliage de fer et de carbone. Et en fait depuis la fonte fusible à 6 et même 7 p. °/₀ de carbone jusqu'au fer à l'état pur, la gamme est tellement vaste qu'une définition exacte me semble impossible.

En effet, personne ne peut affirmer où commence l'acier ni où il finit, quoiqu'il soit certain que lorsqu'il est dépourvu de carbone ce n'est plus de l'acier, mais du fer, quelle que soit la nature du traitement que le métal ait subi.

L'acier est donc un alliage? Alliage, il l'est au même titre que les alliages du cuivre avec l'étain, le zinc, le silicium, l'aluminium, et selon la proportion plus ou moins forte de carbone allié, il possède ou prend des propriétés différentes, comme les métaux alliés communiquent au cuivre des qualités qui dépendent de leur teneur en métal de combinaison. Mais si l'acier est un alliage, cet alliage est d'une nature éminemment instable.

Lorsqu'on voit un métal prendre des propriétés si différentes selon sa teneur en carbone, que quelques centièmes le font passer de l'état tendre à l'état dur, quelle confiance peut-on avoir en lui quand il s'agit de la construction de ces immenses pièces d'artillerie, dans lesquelles les conditions de régularité, d'homogénéité et de sécurité sont des conditions primordiales, absolues, indispensables?

Messieurs, si je vous présente un morceau de métal et si je vous dis voilà de l'acier, ce mot éveille-t-il dans votre esprit quelque chose de précis ou, inquiets, ne

cherchez-vous pas inconsciemment à deviner l'énigme qui vous est posée? Si je vous dis voilà de l'or, ou de l'argent, ou du nickel, ou du bronze à canons, à coussinet, du bronze phosphoreux, etc., tout de suite votre opinion est formée et votre esprit satisfait. Pour l'acier et surtout pour l'acier à canons, rien de semblable.

Il semblerait simple à croire que les constructeurs de ces armes géantes visent la production d'un produit défini à composition chimique régulière, à propriétés physiques permanentes. Il semblerait simple, n'est-ce-pas, qu'un acier parmi tous les aciers produits par l'industrie possédât les qualités requises pour en faire un bon métal à canon, eût une composition fixe et invariable, tant de fer, tant de carbone, tant de manganèse, avec des quantités faibles ou nulles, mais régulières, de silicium, soufre et phosphore.

Nous connaissons la composition exacte du bronze d'étain donnant la plus haute résistance, il en est de même des proportions définies d'aluminium allié au cuivre, donnant à celui-ci, toujours dans les mêmes circonstances, les mêmes qualités, et nous savons que si nous modifions les proportions ou introduisons de nouveaux éléments tels que : silicium, tungstène, etc., nous transformerons l'alliage primitif en un nouvel alliage ayant des propriétés différentes. Mais l'acier, que certains métallurgistes et surtout les fabricants de canons appellent le métal régulier et homogène par excellence, n'a pas, d'après ses partisans, besoin de toutes ces précautions et pourra contenir toute espèce de métalloïdes, être simple, ou composé de cinq ou six éléments différents; ce sera toujours le métal homogène, fixe, tenace, résistant, le roi des métaux pour la fabrication des canons.

Eh bien! disséquons un bloc de métal, que constatons-nous en pratique? Voyons ce qui se passe, par

exemple, à l'arsenal de Woolwich, dont nous connaissons tous l'importance.

C'est l'industrie privée qui fournit à l'Etat les matières premières dont il se sert pour la fabrication des canons, et surtout les gros lingots, les lingots de petite dimension étant produits par la manufacture de l'Etat même. Et que constatons-nous ?

Les tableaux suivants vont nous être d'un grand enseignement à cet égard :

1° Analyse de quelques aciers ayant été transformés en canons.

Provenance.	N° du bloc.	Carbone.	Manganèse.
Forth.....	5.592	0,338	0,075
	5.614	0,400	0,126
Whitworth...	5.607	0,300	0,312
	5.658	0,417	0,240
Viekers.....	5.761	0,240	0,216
	5.759	0,272	0,225
Cannell.....	6.067	0,143	0,341
	5.889	0,194	0,248

Voilà la matière première : combinaison chimique éminemment variable ; composés variant de 0,075 à 0,341 de manganèse et de 0,143 à 0,417 de carbone, et c'est le métal qui va être mis en œuvre pour faire des pièces homogènes.

Voyons maintenant les produits :

PROVENANCE	A L'ÉTAT NATUREL			TREMPÉ A BASSE TEMPÉRATURE			TREMPÉ A HAUTE TEMPÉRATURE			REMARQUES
	Limite d'élasticité en kgs par m/m2.	Charge de rupture.	Allongement p. °/°.	Limite d'élasticité en kgs par m/m2.	Charge de rupture.	Allongement p. °/°.	Limite d'élasticité en kgs par m/m2.	Charge de rupture.	Allongement p. °/°.	
Forth.....	18,60	48,05	23,04	49,06	75,90	23,69	48,18	63,91	13,62	Culasse.
	17,05	45,57	17,27	57,24	82,99	28,77	60,48	89,17	9,59	Volée.
Whitworth.....	22,41	52,16	23,54	54,22	80,92	12,53	54,69	81,09	12,48	Culasse.
	22,21	50,80	23,16	54,66	80,11	11,97	54,54	80,40	12,75	Volée.
Viekers.....	18,29	47,36	24,26	45,04	70,46	14,55	46.21	71,68	14,49	Culasse.
	22,53	51,79	14,09	54,95	79,15	7,07	55,39	77,28	7,16	Volée.
Cannell	21,54	43,99	27,2	54,92	67,72	14,05	46,64	68,94	12,7	Culasse.
	18,94	41,92	28,7	50,45	72,71	12,95	53,01	75,77	11,8	Volée.

Il ne faut pas de grandes phrases pour tirer une conclusion des deux tableaux qui précèdent où nous voyons des métaux si différents, ceux fournis par la maison Cannell ne titrant que 0,143 et 0,194 de carbone, lutter de ténacité après la trempe avec les aciers de la forme Forth titrant 0,338 et 0,400. Pourquoi ? Parce qu'à côté du métalloïde, nous voyons le métal manganèse jouer un rôle important qui vient renforcer mes conclusions précédentes, savoir que l'acier pour canons est non seulement un alliage, mais encore un alliage complexe dans lequel le soufre, le silicium, le phosphore, jouent un rôle à côté du carbone et dans lequel le manganèse, à son tour, intervient pour modifier radicalement les propriétés du métal et corroborer mes affirmations relatives à l'absence de régularité dans la composition chimique de l'acier.

Si rien que du fait de la teneur en éléments étrangers au fer, nous arrivons à de telles déductions, que dire maintenant si nous examinons la répartition moléculaire ou atomique des divers corps alliés dans la masse du bloc d'acier. Le voilà coulé, ce bloc ; pouvons-nous en faire usage pour la fabrication d'un canon ? Non, car les énormes masses produites par la coulée ont en elles-mêmes une composition chimique et moléculaire absolument variable, et cette variabilité s'accentue d'autant plus que la masse est plus volumineuse.

Ce n'est cependant pas ainsi qu'ils comprennent l'acier, les éminents aciéristes qui disent : « L'homogénéité et « la compacité, conséquences naturelles de l'état liqui- « de, n'appartiennent qu'aux aciers. (1) »

L'homogénéité et la compacité sont le cheval de bataille des défenseurs de l'acier. Leurs assertions sont non seulement démenties par les faits, mais encore

(1) *Définition de l'acier*, par Gruner.

contredites par des métallurgistes dont la valeur est indiscutable, notamment, par exemple, par M. Snelus qui, dans le meeting de l'Institut du fer et de l'acier, tenu à Londres le 11 octobre 1881, en étudiant les tableaux d'épreuves donnés par M. Maitland, y trouve la confirmation de sa théorie sur l'inégalité de distribution des éléments dans les gros lingots d'acier. Il appelle l'attention sur les différences que présentent les essais des aciers de culasse et de volée, tant comme résistance que comme allongement. Il cite d'ailleurs le résultat d'analyses de lingots d'acier sur lesquels il a fait des prises d'essai à la tête et au pied, lesquelles lui ont donné les résultats suivants :

	Tête	Pied	Ecart	
Fer.....	98,304	99,038	734	millièmes.
Carbone combiné.	0,760	0,350	310	—
Silicium	traces	traces	»	—
Soufre	0,187	0,044	143	—
Phosphore..... .	0,191	0,044	147	—
Manganèse	0.558	0,514	44	—
	100.00	99.990		

Le résultat de ses analyses personnelles ne le satisfaisant pas, il fit faire par MM. Pattenson et Burrows (séparément) des analyses sur des prises d'essai faites dans les mêmes conditions.

Le tableau suivant donne des résultats concordants, et cette frappante concordance permet d'affirmer avec force l'indiscutabilité du fait.

ÉCARTS millièmes.		HAUT		BAS	
		Pattenson.	Burrows.	Pattenson.	Burrows.
800	Fer.....	98,100	98,224	99,000	99,060
270	Carbone Comb..	0,620	0,660	0,350	0,370
58	Graphite.....	0,095	»	0,037	»
159	Manganèse.....	0,694	0,666	0,535	0,468
»	Cuivre	0,004	»	0,004	»
5	Silicium	0,928	traces.	0,023	traces.
80	Soufre.....	0,129	0,160	0,049	0,032
100	Phosphore.....	0,163	0,142	0,063	0,052
		99,933	99,852	100,061	99,982

Dans l'analyse faite du centre à la périphérie, le résultat montre pour le carbone une échelle dont le 1er terme était 440 millièmes et le dernier 770 ; pour le soufre, respectivement, 32 et 187; le phosphore, 44 et 142.

Les travaux de M. Snelus démontrent que le carbone, le soufre et le silicium se concentrent dans les parties du lingot qui restent le plus longtemps fluides, laissant le fer, le manganèse en excès dans les parties que ces corps avaient abandonnées. Le même phénomène a été constaté, mais à un degré moindre, dans les petits lingots ; il n'en résulte pas moins qu'à un degré plus ou moins fort, selon la dimension des lingots, l'homogénéité de l'acier n'est qu'un mot.

Ne nous trompons pas, Messieurs, l'acier est homogène, mais seulement à l'état liquide. Dès qu'il se solidifie, l'homogénéité disparaît.

Si les travaux de M. Snelus, faits en 1881, n'étaient suffisants pour vous convaincre, ceux plus récents du colonel Maitland, le savant directeur de l'arsenal de Woolwich, ceux faits à Sheffield, seraient là pour dissiper toute espèce de doute.

Dans le lingot, dit M. Maitland, lors de la discussion qu'il avait provoquée sur une étude faite par lui sur le traitement de l'acier comme métal à canons, en mars 1887, devant l'association des ingénieurs civils en Angleterre, dans le lingot, les 3/4 ou les 2/3 inférieurs se refroidissent d'abord, tandis que le 1/4 ou le 1/3 supérieur restant, se maintenant à l'état liquide, présente une masse plus ou moins spongieuse, qui renferme la majeure partie des impuretés et les gaz qui n'ont pas eu le temps de s'échapper avant le refroidissement de la croûte externe. La distribution dans le lingot des corps alliés au fer est considérablement affectée par les conditions dans lesquelles la solidification s'opère et les résultats diffèreront si l'on entoure le lingot de matières isolantes ou si l'on active le refroidissement. On peut admettre qu'en général les premières portions devenues solides représentent à bien peu près la composition moyenne du lingot, le carbone et le manganèse étant scorifiés et emprisonnés dans la masse. Dans les portions, au contraire, qui restent le plus longtemps fluides, le carbone et le manganèse montent à la surface, de façon que le milieu de la partie inférieure du lingot est le plus doux et le milieu de la partie supérieure le plus dur.

Le tableau ci-après donne le diagramme de la distribution du carbone à différents niveaux dans le bloc d'acier solidifié :

24	**28**	**24**	**30**	**28**	**23**	**26**
26	36	64	50	57	38	27
30	39	51	78	49	42	30
29	36	40	72	40	42	29
32	38	35	43	34	38	33
31	33	31	32	30	30	32
33	27	28	29	28	27	29
33	25	26	24	25	26	30

24	28	24	30	28	23	26
34	24	25	22	24	24	33
32	23	23	22	23	24	29
32	25	25	24	26	26	30
28	28	30	29	30	29	23

Minimum : 22 ; maximum : 78.

Section par le centre du lingot.

Le rôle de la liquation est, d'ailleurs, tellement indiscutable qu'il est admis en pratique que la plus grande uniformité dans la qualité sera obtenue en enlevant environ le tiers de la tête du lingot et en excavant dans le centre un cylindre dont le diamètre serait environ le 1/4 du diamètre moyen du lingot. Le Gouvernement français oblige même ses fournisseurs à enlever, avant forgeage, 28 p. °/₀ à la tête du lingot et 4 p. °/₀ au pied. La partie centrale, de qualité inégale, est également enlevée : si le lingot doit produire le tube du canon, il est étiré sous le marteau d'abord et foré ensuite ; s'il est destiné aux frettes, il est foré d'abord, puis mandriné jusqu'à ce qu'il ait atteint le diamètre exigé.

Qu'est donc devenue cette fameuse homogénéité, la qualité essentielle de l'acier comme métal à canon ? Je passe sous silence les considérations dérivées de la présence du silicium, du soufre, du phosphore. Pour ne dire qu'un mot du silicium, il suffit de citer l'échelle de classement des aciers de la Société Cockerill pour la trempe n° 2, telle qu'elle nous est donnée par M. Philippart, ingénieur aux aciéries de ladite Société :

	Carbone	Silicium
1re échelle	0,380	0,045
2e —	0,245	0,270
3e —	0,195	0,380
4e —	0,180	0,470
5e —	0,150	0,690

D'un côté, des aciers à 45 millièmes de silicium, de l'autre des aciers à 690 millièmes.

Je crois inutile d'insister. Les renseignements que nous pourrions tirer des différences dans le degré de malléabillité et de soudabilité des aciers fortifieraient certainement encore la conviction que je cherche à vous faire partager du peu de confiance que l'on doit accorder à l'acier en tant que métal à canons. Il serait très intéressant d'entrer dans les détails, mais le peu de temps mis à notre disposition m'oblige à me limiter à la simple énonciation : qu'il y a des aciers malléables et d'autres qui ne le sont pas, que certains aciers se soudent bien et que d'autres ne se soudent pas ou se soudent mal. Plus la teneur en carbone augmente, plus les qualités de malléabilité et de soudabilité diminuent, et quelle que soit la teneur en carbone, ces qualités sont profondément modifiées par la variabilité plus ou moins grande dans la teneur en métalloïdes autres que le carbone : soufre, silicium, phosphore, etc.

Il ne m'est pas possible de suivre beaucoup de nos métallurgistes, ardents apôtres de l'acier comme métal à canons, mais je pourrais vous citer le cas extraordinaire d'un métal renfermant 0,05 de carbone, qui est de la fonte pour l'un, du fer pour un deuxième et de l'acier pour un troisième. C'est ici le cas de faire intervenir le quatrième point qui doit nous permettre d'établir si les échantillons que nous analysons sont de l'acier. La théorie nouvelle dit que tout produit sidérurgique ayant subi la fusion est de l'acier s'il est malléable et de la fonte s'il ne l'est pas, et que ce sera du fer s'il n'a pas subi la fusion. Que faisons-nous alors du métal dont je vous parlais il y a un instant ? Ecoutons ce que nous dit M. Philippart, ingénieur aux aciéries de Cockerill :

« Un échantillon de fonte malléable très mince et qui

aurait été soumis à une décarburation énergique ne contenait plus que 0,05 p.°/₀ de carbone, le métal se laissait bien forger et sa texture rappelait complètement celle du fer à grains. » Ne faut-il pas une dose énorme de bonne volonté pour accepter comme fonte un produit revendiqué par les uns comme fer et par les autres comme acier ?

Messieurs, cela a été pour moi un perpétuel étonnement que de voir avec quel imperturbable sang-froid un métallurgiste vous parle de l'acier ou vous offre de l'acier. Que le métal soit fait par cémentation, par affinage au four, par le procédé Bessemer, Martin ou Thomas, qu'il vienne d'Angleterre, d'Amérique, d'Allemagne ou de Belgique, qu'il soit fait avec des minerais pauvres ou riches, purs ou impurs, ce produit indéfinissable sera toujours de l'acier, et si les métallurgistes ne s'entendent pas, si l'emploi de l'acier rencontre dans tant de circonstances des obstacles presque insurmontables, ne devons-nous pas attribuer précisément au peu de soins mis à le définir les mécomptes innombrables qui ont si souvent accompagné l'emploi de métaux dont on ignorait absolument la teneur, la valeur, le procédé qui a servi à le produire, etc.? Certainement, au point de vue de la fabrication des canons, les gouvernements producteurs limitent leurs choix entre certains fournisseurs connus et diminuent ainsi de beaucoup les causes d'erreur que je signalais il n'y a qu'un instant, mais même entre ces fournisseurs employant des minerais, des appareils, des procédés souvent différents, les produits doivent nécessairement varier et, quelque minutieuses que soient les analyses, quelque habilement conduits que soient les essais physiques et mécaniques, il est incontestable que dès que le bloc d'acier qui va devenir un canon quitte l'état liquide, aucune puissance humaine n'est à même

d'établir la valeur de la matière première à mettre en œuvre.

N'oublions pas, Messieurs, que c'est spécialement le procès de l'acier pour canons que je fais devant vous. N'oublions pas, non plus, ce fait remarquable et singulier de canons en fonte, ayant salué victorieusement la comparaison avec des canons d'acier. Est-ce à dire qu'il entre dans ma pensée de donner le pas à la fonte sur l'acier ? Evidemment non, mais les canons en fonte obtenus par la coulée directe du métal, celui-ci étant placé dans des circonstances spéciales de refroidissement, de façon à provoquer un minimum de liquation, ont sur les canons en acier une série d'avantages dont je ne veux, pour le moment, retenir qu'un seul, c'est que le métal dont ils sont formés, tout en ayant une résistance spécifique près de six fois inférieure à celle de l'acier, n'a un effet utile inférieur que de 40 p. °/₀ au grand maximum à celui du roi des métaux à canons.

Je ne puis, Messieurs, quelque intéressants qu'ils puissent être, vous citer des chiffres, cela m'entraînerait trop loin ; j'ai déjà beaucoup usé de votre bienveillante attention et je craindrais d'abuser des précieux moments qui restent à nos collègues pour vous exposer leurs vues.

J'aborderai tout de suite les trois derniers points qui me restent à examiner, les faits dérivant de la trempe, des propriétés physiques et du travail de l'acier.

Ici, Messieurs, le chapitre est immense et le dossier accablant. Je ne ferai qu'esquisser rapidement les principaux points de mon réquisitoire, me réservant de développer ultérieurement et plus complètement mon argumentation.

Nous avons donc devant nous le squelette d'acier décapité par le haut, mutilé par le bas, éventré par le milieu. Cet acier doit prendre la structure

à grains fins. Si la cassure est à grains fins, l'acier est en pratique de bonne qualité, il possède la ténacité requise, en admettant que toutes les autres influences destructives de cette ténacité aient été éliminées. Si elle est à gros grains ou en cristaux, le produit est défectueux et la pièce de mauvaise qualité. Or, dans des pièces volumineuses, à un point de vue absolu, l'irrégularité dans la cristallisation ne peut être combattue complètement dans le travail de la coulée. C'est le forgeage qui est destiné à ramener une uniformité aussi grande que possible. Le forgeage cependant, tout en se rapprochant du but, ne l'atteint pas. En effet, les énormes blocs d'acier, qui vont après le travail constituer le canon, exigent, pour le martelage, d'être chauffés à des températures considérables. Plus cette température est élevée, plus le métal est sensible à l'action des gaz du foyer et plus rapidement sa composition chimique s'altère. Il perd peu à peu son carbone et se convertit lentement en fer à la surface, tandis que le centre reste inattaqué.

Nous avons donc, au moment où le lingot est porté au pilon ou à la presse, une masse à haute température dont les particules sont écartées les unes des autres à une distance qui dépend du degré de température et que la force du pilon, la puissance de la presse ne parviennent à réduire qu'au moment où le pouvoir calorifique diminue; de manière que, par le refroidissement et le battage non interrompu, la masse n'a pas le temps de cristalliser, mais qu'elle se trouve, après refroidissement complet, devoir posséder la ténacité et la structure homogène recherchées, à la condition, toutefois, que la composition chimique soit restée la même dans toute la masse. Or, dit M. Jordan, votre éminent compatriote et notre illustre collègue, les grosses pièces de forge,

les blindages qui passent plusieurs fois dans les fours à réchauffer et qui se refroidissent lentement à chaque chaude sous les coups répétés du marteau, sont sujets à cristalliser dans les parties centrales, que l'effet du choc n'atteint pas. Pour y remédier et empêcher les ruptures, suivant les clivages, il faut, lorsque la pièce est complètement façonnée, ne pas la laisser refroidir à cœur, mais la remettre au four jusqu'à ce que l'intérieur ait repris une température rouge, puis faire revenir le fer en le trempant dans de l'eau qui peut être chaude pour les petites pièces et qui est froide pour les grosses pièces, comme les blindages par exemple ; sans cette précaution, une cuirasse en bon fer doux casserait avec de larges facettes sous le choc du boulet, au lieu de résister. En fait donc, atteindre le double but : empêcher la modification moléculaire, ainsi que la modification chimique, est impossible, parce que le métal se transforme de la périphérie au centre, depuis le moment de la coulée jusqu'au pilon, par l'action des gaz du four, de l'air atmosphérique ou du mode de refroidissement. De plus, le lingot d'acier, après sa coulée, au moment où il est porté au four pour le raffinage du métal et la chauffe pour forgeage, renferme, réparties dans sa masse, une énorme quantité de soufflures ou cavités remplies de pailles, de scories ou d'air qu'on ne parvient jamais à faire disparaître complètement, malgré les martelages énergiques sous le poids d'engins puissants.

Nous venons de voir intervenir la trempe. Il serait trop facile à l'appui de ma thèse de relever l'opinion des hommes éminents qui combattent la trempe des canons de gros calibre, et pour dix partisans de la trempe, j'en trouverais vingt qui y sont absolument opposés.

N'y-a-t-il rien, en effet, Messieurs, de plus bizarre

que les manipulations du canon d'acier au point de vue de la trempe. Je ne puis refaire devant vous les théories de la trempe et celle du recuit; qu'il me suffise d'appuyer sur ce fait connu que plus les dimensions des pièces sont grandes, moins les effets dus à la trempe sont actifs, moins ils sont uniformes. En effet, dès que le métal a atteint le rouge, les molécules commencent à s'écarter considérablement les unes des autres. Amenées par le martelage à des positions déterminées, elles tendent sous l'influence de la haute température à reprendre un état d'équilibre défini ; mais si cette tendance à prendre un état d'équilibre stable vient, par une cause quelconque, à être contrariée dans une partie seulement de la masse, cette portion de la masse prend, dans sa répartition moléculaire, une nouvelle allure qu'expliquent les réactions produites par les molécules en mouvement sur lesquelles la perturbation ne s'est pas fait sentir encore. Celles-ci, à leur tour, en se refroidissant, ne peuvent plus reprendre leurs positions relatives initiales par suite des efforts exercés sur elles par la portion primitivement refroidie. Celle-ci, par suite, prend une forme intermédiaire entre la forme qu'elle avait avant le rechauffage et celle qu'elle possédait dès que le degré de température voulu pour le rechauffage a été atteint.

Le colonel Maitland signale à ce sujet un remarquable exemple : Le tube d'un canon de 68 tonnes après la trempe était raccourci de près de 9 millimètres. Or, comme il est notoire que la trempe diminue la densité de l'acier, il est évident que le canon, non mesuré dans le sens de son diamètre, avait augmenté dans une certaine mesure de ce côté. En dehors des variations dans la dimension des pièces dues à la trempe et sur lesquelles je ne m'appesantirai pas, il y a un effet autrement dangereux et néfaste : c'est celui qui est re-

latif à l'existence des efforts internes auxquels le re-refroidissement brusque soumet les pièces d'acier. L'existence de pressions internes provoque la tendance des molécules à reprendre un état spécial d'équilibre. Ce travail amène fatalement des lignes de moindre résistance et même de véritables fractures.

Pour faire disparaître ces pressions intérieures, il est nécessaire de recourir à la pratique du recuit. Nous pourrions rechercher si le recuit annihile complètement et absolument les effets de la trempe, mais sans entrer dans ces considérations importantes, cependant, nous ferons remarquer que l'influence du recuit est en raison de l'élévation de température à laquelle la pièce est portée, et que, quand la pièce est revenue à la température normale, le grain de la masse a subi un changement souvent radical.

Messieurs, je regrette de ne pouvoir traiter ce sujet à fond, et, pour en terminer au plus tôt, je me bornerai à dire avec le colonel Maitland : La double pratique de la température et du recuit a-t-elle sur les gros tubes d'acier l'influence heureuse que l'on en attend généralement et compense-t-elle suffisamment les inconvénients dus à la naissance de tensions internes dans la masse de l'acier ? Avec de grandes masses, il n'est pas plus possible de tremper uniformément que de recuire avec régularité, et il est bien certain que l'on aura des inconvénients équivalents, soit que la trempe, soit que le recuit aient été imparfaits. M. Fréderick Bramwell et bien d'autres vont plus loin ; ils établissent qu'il est de la plus haute importance pour les officiers d'artillerie de rechercher une qualité d'acier qui puisse se passer de la trempe. S'ils réussissaient, ils feraient disparaître un procédé coûteux, et ce qui est mieux un procédé dangereux.

Messieurs, les aciéristes entre eux, et d'un autre côté

les artilleurs entre eux et avec les métallurgistes sont en complet désaccord sur la nature des aciers à mettre en œuvre.

Faut-il faire usage d'un acier à faible teneur relative en carbone et en manganèse et augmenter les limites d'élasticité et les charges de rupture par des manipulations répétées, telles que réchauffages nombreux et forgeages multipliés, recuits et trempes successifs, ou vaut-il mieux donner moins de travail au bloc en augmentant dans de certaines limites la proportion de carbone et de manganèse ?

L'examen de ce problème qui a occupé et occupe encore tous ceux que la question de la grosse artillerie intéresse m'entraînerait encore une fois au delà des limites de votre obligeante bienveillance, mais il suffit de parcourir les discussions soulevées dans les divers meetings du fer et de l'acier, les réunions des diverses associations savantes des pays que la chose intéresse et notamment la brillante discussion qu'a soulevée le travail du colonel Maitland dont je vous ai déjà parlé, de même que celle qui a été provoquée par l'un des frères Cowles, inventeurs du four électrique, à Aunopolis, le 27 octobre de la même année devant l'Institut naval des Etats-Unis, pour se convaincre de l'absolue divergence de vues entre des hommes d'égal mérite et dont les connaissances spéciales techniques, jointes à une érudition extraordinaire, obligent au respect des opinions qu'ils ont émises.

Les arguments énoncés dans les deux camps ont une égale valeur et je n'ai qu'une déduction à en tirer, c'est qu'un métal qui se prête à des interprétations aussi catégoriquement différentes est loin de répondre à ce que l'on attend de lui, et il ne devient plus étonnant alors que les armes qu'il fournit sont des armes ou absolument incertaines ou dont le coefficient de

sécurité employé doit être élevé jusqu'à l'exagération. Et c'est en effet le cas.

Je pourrais vous citer, d'après les auteurs les plus compétents, d'après les tableaux fournis par les grands fabricants de canons eux-mêmes : Krupp, Armstrong de Bange, etc., des chiffres qui seraient la condamnation du système s'il existait un autre métal ayant les qualités requises pour être substitué à l'acier.

La vérité est que jusqu'à l'heure actuelle, il n'existait rien de mieux que l'acier, et pour obtenir un effet utile de 40 p. °/₀ plus élevé qu'avec la fonte, les gouvernements intéressés n'ont rien trouvé de mieux que de consentir à payer le double ou même le triple des canons formés d'un métal travaillant à un coefficient de sécurité 3 ou 4 fois trop fort, et qui, malgré cela, occasionnent encore les déceptions les plus vives.

Messieurs, je m'arrête. J'ai appelé votre attention sur la fourniture des engins nécessaires à la défense nationale, et dont la perfection est un des facteurs les plus sérieux de l'existence d'une nation.

Cet élément, c'est l'acier employé presqu'à l'exclusion de tous autres métaux, fer, fonte, bronze, etc.

Je reconnais cependant avec vous que, surtout aujourd'hui, dans de nombreuses circonstances, l'acier est un alliage très élastique, malléable, ductile, facile à souder et à forger, très tenace, fusible à hautes températures, mais seulement lorsqu'on opère avec soin sur des lingots de dimensions déterminées et généralement petites d'un métal pur, homogène, exempt de cavités, soufflures et pailles, à texture régulière et grains fins, forgé et martelé à fond, de manière à conserver à la surface, comme au cœur, une composition chimique et une disposition moléculaire identiques. Mais si l'on opère sur de lourdes masses, le produit fini ne sera jamais qu'un produit incertain, par suite

de la liquation, des différences entre la composition chimique et la texture moléculaire de ses parties, des irrégularités matérielles provenant d'un travail qu'on ne peut jamais rendre parfait, des inconvénients de la trempe ou du recuit, de l'impossiblilité qu'il y a à se procurer un métal régulier, homogène et compact, exempt de scories et de soufflures.

Ma conviction, basée sur l'étude attentive des propriétés du métal même, vient se fortifier considérablement si nous poursuivons notre examen par l'étude de l'objet fabriqué produit au moyen des systèmes si fort en faveur il y a peu de temps et sur lesquels l'opinion des hommes de science revient en ce moment, appelés canons systèmes Krupp, Armstrong, etc.

Ici je devrais entrer dans quelques développements et vous énumérer les inconvénients de la fabrication par pièces rapportées.

Nous connaissons, Messieurs, l'admirable précision de nos ingénieurs, le travail si consciencieux de nos officiers, les remarquables installations mécaniques utilisées pour la fabrication de nos canons. Mais quelque merveilleuse que soit l'exactitude avec laquelle on opère, il est évidemment impossible en pratique de réaliser les exigences de la théorie et quels que soient les soins apportés au travail, vous ne ferez jamais que par le forgeage des tubes les uns sur les autres et des frettes sur les tubes, vous obteniez exactement les résistances désirées. Il serait d'ailleurs possible de démontrer ceci mathématiquement. M. Langudge, en effet, dans son traité, établit scientifiquement qu'un canon de 8 pouces ayant un diamètre de 23 pouces 6/10 et composé de 4 anneaux parfaitement assemblés, ne peut utiliser que les 80/100 de la résistance totale. Il a montré, de plus, qu'une faible déviation de 1/2000 de pouce dans la direction d'un anneau ayant 17 pouces de diamètre

intérieur aurait pour effet de réduire la résistance du canon ainsi renforcé à la résistance du canon avant ce travail.

Enfin, si nous allions plus loin, nous trouverions encore toute une série d'inconvénients provenant surtout des vibrations produites par le choc dans un canon par pièces rapportées.

Je passe et je termine en disant avec un éminent métallurgiste américain, M. William Metcalf, de Pittsbourg, que lorsque la pièce de canon faite par le système dit « built up » est terminée, elle n'est qu'une masse incertaine.

Je ne veux pas fatiguer l'attention d'une assemblée aussi compétente que la vôtre, ouvrir le chapitre des accidents et sinistres publiés par les journaux et énumérer les épouvantables, mais trop nombreux désastres qui ont occasionné la mort de tant d'intelligents officiers et de braves soldats, sans compter, mais de fort loin, les pertes matérielles subies, et dont le nombre seul suffirait à prouver la nécessité de faire disparaître des champs de bataille sur terre comme sur mer ces engins qui fatalement doivent faire autant de mal à ceux qui les manient qu'à ceux contre lesquels on les tourne. Je ne m'appesantirai pas non plus sur le coût énorme de la fabrication de ces pièces, coût occasionné uniquement par le fait que l'on traite un métal instable, inconnu, insaisissable, difficile à maîtriser et pour la manipulation duquel on ne sait prendre assez de soins. Vouloir produire enfin un métal qui à l'état de pureté et de fabrication convenable devrait résister régulièrement à des efforts de 10, 12, 13.000 kil. par centimètre carré, et ne donne, après avoir été confié aux ouvriers les plus habiles, chauffé dans des fours construits avec toute la science de l'ingénieur, comprimé sous des marteaux-pilons de 50, 80 ou 100 tonnes, sous des presses

de 2, 3 et 4.000 tonnes, qu'un produit cédant à un effort de 3.000 à 3.500 kilog. par centimètre carré : ce n'est plus du progrès ni de la science, c'est du recul.

Les propriétés physiques de l'acier ne nous éclaireront pas sur sa nature.

Je crois, si ma mémoire est fidèle, qu'il y a deux ans la Société du Creusot avait proposé une définition ou, pour être plus exact, une classification des aciers, selon leurs propriétés physiques. J'ignore l'accueil qui a été fait à cette proposition, mais je ne puis croire qu'elle ait résolu le problème, car dans un même lingot selon la position de la prise d'essai, l'on obtient des résultats étonnants par leurs divergences. Ainsi M. Snelus, dont je vous parlais il y a un instant, voulant donner une consécration pratique à ses essais, a pris au centre d'un gros lingot deux éprouvettes, l'une à 550 millimètres de la tête et l'autre à 125 millimètres du pied et, après les avoir fait forger en barres, les a éprouvées à la traction et à l'allongement. Il a obtenu les résultats suivants :

Eprouvette prise au haut du lingot.

Charge de rupture	76^k p. $^m/^{m2}$
Allongement	8,8 p. %

Eprouvette prise au pied.

Charge de rupture	55,1 p. %
Allongement	21,8 p. %

Ce ne sont plus deux aciers différents, ce sont deux barres prises dans le même acier.

Je ne vous ai pas montré le côté économique de la question, montré un métal qui brut vaut de 15 à 30 centimes le kil. et terminé 3, 4, 5 et jusqu'à 6 fr. le kilog., prix de vente de certains canons Krupp ; je ne vous ai pas parlé non plus de l'absolue non-valeur du canon après sa mise hors service.

Si je me suis attaché à vous montrer l'acier sous toutes ses faces défavorables, ce n'est pas pour l'unique satisfaction de vous apprendre que nous manions tous les jours plus encore contre nous-mêmes que contre nos ennemis des armes dans lesquelles il est impossible d'avoir la moindre confiance. Non, Messieurs, c'est qu'hier l'acier, *quoi qu'il fût. quoi qu'il coûtât*, était le seul métal qui fût possible pour la fabrication des armes de guerre; aujourd'hui, un autre métal est né et c'est celui sur lequel j'appelle toute votre attention, parce que, comme j'ai eu l'honneur de vous le dire au début de ce travail très incomplet, bien que né en France depuis près de 40 ans, il est fort mal connu de beaucoup de nos collègues et systématiquement inconnu de la plupart des aciéristes qui voient, devant cet astre qui se lève, sombrer la barque qui porte les fruits d'efforts gigantesques et toutes leurs espérances.

Je dois dire tout d'abord que nous n'avons pas sur le métal nouveau et qui est, je vous l'ai déjà nommé, le bronze d'aluminium ou ses dérivés, un état de service aussi chargé que celui de l'acier, beaucoup plus jeune que lui cependant.

Mais nous possédons des éléments déjà nombreux et suffisamment importants pour assurer une confiance très grande dans les services que l'on est en droit d'en attendre.

Deux mots seulement sur le bronze d'aluminium que nous connaissons déjà par ses propriétés décrites par votre illustre compatriote Sainte-Claire Deville et aux quelles je puis en ajouter trois que seules je veux retenir pour ma démonstration.

1° La résistance à la rupture avec une haute limite d'élasticité ;

2° L'absolue homogénéité ;

3° L'absolue compacité.

Dès 1886, la Compagnie Cowles mettait en marche une dynamo Brush de 150.000 wats et produisait 10 kil. de bronze d'aluminium à 10 p. °/₀ par 75 chevaux-vapeur et par heure.

Aujourd'hui, grâce à une puissance plus grande et à des perfectionnements auxquels on s'attendait déjà en 1887, cette même quantité est produite par une force motrice de 25 à 30 chevaux. Or, comme plus de 1.500 chevaux fonctionnent déjà, vous voyez que les masses produites sont relativement considérables.

Le bronze d'aluminium est vendu au commerce à des teneurs diverses, et le degré de résistance de l'alliage de cuivre est en raison de la richesse en aluminium, jusqu'à une teneur qui ne dépasse pas actuellement 11,35 p. °/₀. C'est un alliage à cette teneur qui, sous forme de barres de 100 millimètres environ entre les repères et de 7 millimètres de diamètre, a résisté à une charge de rupture de 91 kil. par millimètre sans allongement. Le silicium, au lieu d'être nuisible, agit généralement dans le même sens que l'aluminium, à la condition que celui-ci atteigne une teneur d'au moins 7 p. °/₀

Il existe des degrés d'alliages dénommés A_1, A_2, A_3 pour lesquels la moyenne des charges de rupture varie de 80 à 65 kilog. par millimètre carré avec des allongements variant de 5 à 35 p. °/₀ (les essais portant sur des éprouvettes ayant 25 millimètres de diamètre et 250 millimètres de longueur entre les repères).

Je pourrais vous fournir les tableaux des essais faits aux Etats-Unis. Vous y relèveriez :

1° Des échantillons de bronze fort, qualité dite Spécial résistant de 67 à 80 kilog. par millimètre carré avec des limites d'élasticité allant de 49 à 56 kilog.

2° Des échantillons de bronzes à teneurs plus faibles

en aluminium donnant des charges de rupture de 47 à 52 kilog. avec des allongements de 18 à 48 p. °/₀;

3° Des échantillons de laiton d'aluminium à une teneur en zinc égale à près de 13 p. °/₀, donnant des charges de rupture de 49 à 64 p. °/₀ avec des limites d'élasticité atteignant presque les 4/5 de la charge de rupture, soit 38 kilog. à 45 kilog. par millimètre carré.

Ces chiffres me dispensent de commentaires et leur éloquence a été telle que, convaincu, le gouvernement des Etats-Unis qui connaissait en outre les excellentes qualités d'homogénéité, de compacité, de résistance à l'oxydation, aux acides, aux gaz sulfurés, à l'eau de mer du métal, n'hésitait pas à revenir sur une adjudication déjà faite et à imposer aux constructeurs de ses navires l'emploi du bronze d'aluminium à l'exclusion des autres bronzes manganésés ou phosphoreux dont l'emploi avait déjà été approuvé antérieurement. La quantité demandée a été de 135.000 kilogrammes.

Le gouvernement anglais a suivi le gouvernement américain ; des applications remarquables du bronze d'aluminium ont déjà été faites, j'en signale l'existence, ne me sentant pas le droit d'entrer dans des détails. Mais tout le monde s'expliquera l'importance réelle que ces alliages vont prendre si je vous dis que des coulées entières de bronze d'aluminium ont été faites dont les éprouvettes donnaient à l'essai de 50 à 55 kilogr. par millimètre carré, avec des allongements très considérables.

Je n'ai pas besoin de vous dire, Messieurs, que tous ces essais ont été faits sur des éprouvettes *simplement coulées* en sable et projetées dans un vase rempli d'eau pour en hâter le refroidissement, non forgées, trempées ni recuites.

Quant à l'homogénéité du bronze, elle est absolue,

pas une veine discordante. Quelques chimistes même vont jusqu'à attribuer la formation du bronze d'aluminium à une réaction absolument chimique et à le regarder comme un produit défini et constant. Toujours est-il que des pièces du poids de plus de 1.000 kilogrammes ou d'autres dont les dimensions coulées en une pièce étaient de 3 sur 2 mètres ont été essayées à des hauteurs et à des positions diverses, et il a été impossible, dans les limites d'exactitude des procédés actuels d'analyse, de trouver, au point de vue de la composition chimique, la moindre différence.

Si le bronze d'aluminium échappe complètement aux désastreuses influences de la liquation, il est également absolument et toujours d'une complète compacité : ni soufflures, ni pailles, ni cavités, ni géodes, une seule masse d'une uniformité remarquable.

Donc, métal homogène, métal compact, métal régulier, métal non oxydable, métal que l'on peut couler en masses considérables et qui à cet état simplement coulé, non forgé, non martelé, non trempé, non recuit, possède des charges de rupture, des limites d'élasticité au moins égales à celles de l'acier.

Ici je rouvre la parenthèse un instant refermée plus haut. La grande qualité de l'acier est, paraît-il, la résistance qu'il offre à la corrosion sous de hautes températures (ce qui est le cas dans le tir des pièces de gros calibre). Le bronze qui, à des températures relativement élevées résiste également et d'une façon absolue à l'action des gaz, résistera-t-il encore quand la température sera celle qui se dégage au moment de la déflagration de la poudre dans le canon au moment du feu ? C'est là un point d'interrogation auquel le manque d'expérience ne nous permet pas de répondre, mais nous aurons trouvé tout de suite le remède si nous nous rappelons que, ainsi que le dit M. Cale, ingénieur amé-

ricain, le bronze d'aluminium et l'acier ont un coefficient de dilatation sensiblement égal.

A l'endroit de l'axe, nous insérerons soit par forage, soit au moment de la coulée, un cylindre d'acier qui, emprisonné dans le métal, n'aura d'autre rôle à jouer que de résister à l'action du gaz, si cela était jamais reconnu nécessaire.

La densité du bronze d'aluminium fort est de 7,56, celle de l'acier 7,84. L'écart est insignifiant, sur une pièce de 100 tonnes, la différence de poids ne serait que de 3 à 400 kilogrammes; mais où la différence de poids va s'accentuer, c'est lorsque, certain de mon métal, je voudrai le faire travailler, il me sera possible d'employer un coefficient de sécurité relativement faible, et si ce coefficient est de 3 ou 4 pour l'acier, pour le bronze il pourra être abaissé à 2 et même 1 1/2 ; vous voyez aussitôt, Messieurs, les énormes masses que l'acier demande disparaître par l'emploi du bronze d'aluminium pour atteindre des résultats absolument identiques, pour un canon de même calibre, de même charge de poudre, de même projectile, de même effet balistique.

Or, ai-je lu quelque part et je regrette de ne pouvoir citer mon auteur qui est, je crois, M. Greiner, l'éminent directeur de la Société Cockerill, le canon d'acier est entre tous celui dont l'unité de poids développe la plus grande puissance. N'allons-nous pas, à plus forte raison, le dire pour le bronze d'aluminium ?

Je n'ignore pas que les artilleurs, dès que vous parlez de poids, ne manquent pas aussitôt de vous dire :

« Il y a, indubitablement, des circonstances dans « lesquelles la légèreté d'un canon est une question « essentielle (artillerie de campagne ou de montagne), « mais la règle générale basée sur les lois de la dyna- « mique vous obligent à faire que votre canon soit

« lourd. Je ne vous dis pas qu'il faille empiler des ton-
« nes de charge sur votre pièce, mais si vous avez un
« canon et un affût pesant ensemble 10 tonnes, par
« exemple, vous atteindrez l'idéal si tout le poids est
« dans le canon et rien à l'affût.

« Mais retournez la question : que deviendrait votre
« affût si votre projectile était par exemple du même
« poids que votre canon ? »

Si je vous cite cette phrase, c'est que c'est l'un des arguments les plus sérieux produit par les défenseurs de l'acier et dit par l'un des officiers les plus capables de la marine des Etats-Unis, qui aient combattu le bronze d'aluminium au meeting d'Aunopolis, dont je vous ai parlé.

Mais, Messieurs, c'est de la phraséologie, c'est parler pour ne rien dire.

Tant qu'il y aura affût, canon et projectile, nous savons qu'il faut entre eux une corrélation imposée par les lois de la dynamique et de la balistique. Mais est-ce une raison pour cela de m'obliger à forger une pièce de 100 tonnes quand je puis en en coulant une de 50 ou 60, arriver au même résultat ? Et s'il faut du poids à mon canon, serai-je obligé de le faire d'une pièce et de le faire travailler à des coefficients de sécurité ridicules ? Evidemment non.

Le bronze d'aluminium en nous permettant de faire travailler le métal jusqu'à la limite d'élasticité que nous avons vu s'élever aux 4/5e de la charge de rupture, nous place dans des conditions d'économie et de certitude inconnues avec l'acier et s'il faut 100 tonnes pour obtenir avec l'acier un effet déterminé, nous pouvons être assurés qu'avec le bronze d'aluminium on pourra économiser en poids plusieurs fois 10 tonnes. Et s'il faut cependant que mon canon pèse 100 tonnes ou

même plus, rien ne m'empêchera de lui donner ce supplément *de poids* par les mille moyens que la mécanique ou la métallurgie met à notre disposition, par une addition de fer, de fonte, d'acier, de plomb ou de tout autre métal, de bronze d'aluminium lui-même.

Seulement mes premières tonnes, celles qui constituent mon canon proprement dit, me coûteront beaucoup par kilogramme, les autres, celles de supplément de poids, ne me coûteront plus que le prix du métal augmenté de la simple main-d'œuvre de revêtement ; quelle serait dans ces circonstances la différence de prix entre un canon en acier et un canon en bronze d'aluminium ?

Le coût d'un canon en bronze d'aluminium sera le même que celui d'un canon en fonte, à l'exception de la différence de prix du métal en lingots.

Or, la fonte vaut, mettons 25 centimes le kilogramme, le bronze d'aluminium spécial environ 3 fr. 50 le kilogramme. Le canon en fonte achevé revient à environ 1 fr. 75 le kilogramme. Le coût de la manutention du métal étant de 1 fr. 50, le kilogramme du canon en bronze d'aluminium reviendra à la somme de cinq francs, chiffre au-dessous duquel il est fort difficile de descendre en France pour les canons en acier. Or, ceux-ci à effet égal pèsent certainement 25 à 30 p. °/₀ de plus, avec la sécurité en moins.

La comparaison reste toute en faveur du canon en bronze, avec cet avantage énorme que près de 68 p. °/₀ du prix total de ce canon se retrouve quand, pour une cause quelconque, il est hors de service, tandis que le canon en acier est absolument perdu.

Ce que j'ai dit pour les canons s'applique avec la même force aux cuirasses, blindages, affûts, etc.

Il me reste, Messieurs, à vous prier de m'excuser de

n'avoir pu vous donner un travail plus complet, mais le règlement que je ne possède que depuis avant-hier m'a fait une obligation de rester dans des limites étroites dont mon sujet ne demandait qu'à sortir.

M. le Président. — Il n'y a pas d'observations ? Nous allons lever la séance.

La séance est levée à 4 heures trois quarts.

Séance du mercredi 11 septembre 1889.

Présidence de M. Rémaury, vice-président.

La séance est ouverte à deux heures et demie.

M. le Président. — Je remercie le Congrès de l'honneur qu'il me fait en m'appelant à présider cette séance.

M. Pinget, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la séance du 9 septembre.

M. Maignen. — Il est dit dans le procès-verbal qu'on revendique l'invention du bronze phosphoreux pour M. Montefiore ; il n'y a pas de doute que M. Montefiore ait fait de grands sacrifices pour la production de cet alliage, mais je crois que l'invention de l'alliage du phosphore avec d'autres métaux est due au Membre de ce Congrès dont le nom figure le premier sur la liste de nos présidents d'honneur, au professeur Frédéric Abel, chimiste anglais.

M. le Président. — Il n'y a pas d'autre observation? Le procès-verbal est adopté.

M. Lencauchez. — Je demanderai à M. Gautier d'avoir l'obligeance de nous retracer la réaction par laquelle on peut faire du ferro-aluminium en prenant du minerai directement. Je n'ai pas très bien saisi ce point, dans la dernière séance, et il m'a semblé que cela était très intéressant.

M. Gautier. — La réaction que j'ai indiquée n'est pas de moi, elle a été donnée par Niewerth (de Hanovre) ; j'ai cru seulement devoir la signaler parce qu'elle ouvre une voie nouvelle aux réactions qui pourraient produire l'aluminium sous la forme la plus commode

pour les métallurgistes, c'est-à-dire sous forme d'alliage avec le fer ; voici cette formule :

$$Si\ Fe^n + Al^2\ Fl^5 = Si\ Fl^2 + Al^2\ Fe^n$$

La réaction est très simple.

M. le Président. — La parole est à M. Osmond.

M. Osmond lit son rapport et dit après cette lecture : « Je puis ajouter, en terminant la lecture de ce rapport, que M. Roberts Austen, rappelé en Angleterre avant la fin de vos travaux, a bien voulu m'envoyer sa précieuse adhésion aux idées que je viens de développer et me charger, ce que je fais avec grand plaisir, de la communiquer au Congrès. »

M. Howe. — J'estime que tous les sidérurgistes doivent remercier sincèrement M. Osmond de ses recherches, et je trouve que les résultats de ses expériences sont très intéressants. Mais je suis loin d'attribuer la même valeur à la théorie par laquelle M. Osmond explique ces résultats et à ces résultats eux-mêmes.

La théorie ordinaire de la trempe est que le carbone à une température élevée (la température *w* de Brinnell, la température *t* de Chernoff) passe de l'état de carbone de cémentation ou de carbone de recuit à l'état de carbone de trempe, et que l'acier trempé est dur, parce que pendant le refroidissement rapide le carbone n'a pas le temps nécessaire pour passer de l'état de carbone de trempe à l'état de carbone de recuit. C'est là la vieille théorie du *statu quo.*

M. Osmond croit que le changement d'état du carbone ne donne pas directement la dureté, mais qu'il y a, en outre et indépendamment du changement d'état du carbone, un changement d'état du fer entre les états α et β.

Naturellement, quand l'état du carbone change, l'état du fer auquel le carbone est combiné change aussi *ipso facto ;* il y a là une modification allotropique, et on peut désigner les deux états correspondants du fer par α et β, ou par ψ et ω. Mais ces deux changements d'état, du carbone d'une part et du fer d'autre part, ne constituent véritablement qu'un seul et même phénomène. La question est donc celle-ci : y a-t-il, indépendamment du changement d'état du carbone, un autre changement d'état du fer, qui constitue un phénomène distinct ? Et, en admettant que ce dernier changement du fer existe, est-il, comme M. Osmond le croit, la cause de la trempe ?

Le changement d'état du carbone est un fait bien établi ; mais, loin de montrer que le changement d'état du fer est la cause de la trempe, M. Osmond n'a pas même, à mon avis, prouvé que ce changement d'état du fer existât. S'il était démontré que le changement d'état du carbone ne coïncide pas avec le changement de dureté de l'acier, il y aurait lieu de croire que ce n'est pas le changement d'état du carbone qui donne la trempe, au moins directement ; or, l'expérience par laquelle M. Osmond croit avoir démontré cela présente de nombreuses chances d'erreur, et n'est pas du tout probante.

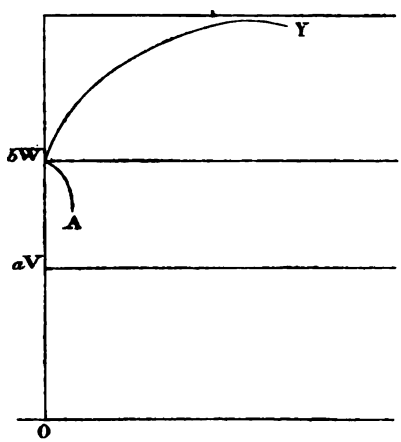
J'ai fait des expériences décrites dans mon traité : « *Métallurgy of steel* », qui ne présentent pas les mêmes causes d'erreur, et qui ont montré que les changements d'état du carbone, de la dureté et du grain, coïncident très sensiblement. D'ailleurs, j'insiste sur ce point que plusieurs des données précieuses de M. Osmond ne sont pas du tout en accord avec sa théorie, mais qu'elles concordent exactement avec la vieille théorie. Si un ou deux des phénomènes décrits par M. Osmond ne confirment pas tout à fait l'ancienne théorie de la trempe,

ils ne s'en écartent pas sensiblement. Je crois que les écrivains compétents qui ont étudié cette question, par exemple MM. Muller et Ledebur, doivent être de mon avis.

J'estime que la publication prématurée de théories nouvelles est regrettable, parce qu'elle établit entre la pratique et la science une contradiction qui est de nature à diminuer l'autorité de cette dernière.

J'ajouterai à ces observations un mot sur le procédé Coffin, employé à Cambria (Etats-Unis).

Si on représente la température par l'ordonnée et la grosseur maxima du grain de l'acier correspondant à cette température par l'abscisse, on peut représenter par la courbe A W Y la grandeur maxima que le grain de l'acier cherche à avoir pour chaque température.



Naturellement, pour chaque composition, et peut-être aussi pour chaque grandeur du morceau d'acier, il y a une courbe particulière.

Il est admis, au moins pour l'acier à carbone, que la qualité la meilleure correspond au plus fin grain.

Quand on chauffe jusqu'à *b*, le grain devient très petit, il devient même parcelanique. Si on trempe à ce moment, on aura donc un grain parcelanique, tandis que si, au contraire, on avait laissé le métal se refroidir lentement, le grain serait devenu assez gros, et en tout cas trop gros pour que la qualité du métal fût la meilleure possible. Mais, par la trempe qui maintient le carbone à l'état de carbone de trempe, on peut provoquer des tapures, ou au moins des tensions intérieures assez considérables, alors, pour obvier à cet inconvénient, on arrête le refroidissement rapide dès que la température est arrivée en *a* (V), et on laisse le métal achever de se refroidir lentement de *a* jusqu'à *o*. D'une part, le refroidissement rapide qui a saisi le métal à la température *a* a conservé au grain sa finesse et son aspect parcelanique ; d'autre part, le refroidissement lent de *a* jusqu'à *o* a permis d'éviter la formation des tensions intérieures sérieuses et a permis au carbone de passer de l'état de carbone de trempe à l'état de carbone de cémentation. Ce procédé est pratiqué depuis quelques années sur une grande échelle. Pour les pièces de moyenne dimension comme les bandages de chemins de fer, on plonge dans l'huile pendant une période déterminée, on sort l'acier quand il est encore au rouge très sombre, et on laisse le refroidissement s'achever à l'air. Pour les grosses pièces, on chauffe jusqu'à *b*, on sort l'acier du four à cette température et on le laisse refroidir à l'air jusqu'à la température *a* ; lorsque ce degré de température est atteint, on couvre la pièce avec du sable, des cendres, etc., et on la met dans un four chauffé à la température *b* qu'on abandonne à un refroidissement lent ; à cet effet, une partie de la sole du four est montée sur roues.

Ces procédés de traitement par chauffage avec refroidissement fractionné et adapté à la composition, aux

formes, aux dimensions et à l'usage des pièces, me semblent devoir prendre une grande importance dans l'avenir. En employant comme bains des alliages plus ou moins fusibles, on peut refroidir graduellement avec plus ou moins de rapidité, à volonté.

Il peut y avoir avantage pour certains objets à employer plusieurs bains de températures et de compositions différentes, pendant les différentes phases de refroidissement, depuis *b* jusqu'à *o*.

M. Osmond. — M. Howe, sans contester le polymorphisme du fer, qui est maintenant hors de doute, ne pense pas que cette propriété joue un rôle dans la transformation que fait subir la trempe vive aux qualités mécaniques de l'acier.

Mon interprétation serait inattaquable s'il était prouvé que :

1° Un acier qui contient beaucoup de carbone de trempe peut être doux ;

2° Un acier qui contient très peu de carbone de trempe peut être dur ;

J'ai essayé de démontrer la première proposition en trempant un acier de moyenne dureté entre les deux points critiques que l'on observe pendant le refroidissement. L'acier, ainsi trempé, était attaquable à la lime et donnait, sous l'action de l'acide nitrique, la réaction du carbone de trempe. M. Howe estime que cette expérience n'est pas concluante et je le lui concède volontiers. Mon acier trempé, tout en étant moins dur que la lime, pouvait avoir acquis une certaine dureté et, d'autre part, l'essai à la touche par l'acide azotique est purement qualitatif. A mon expérience, M. Howe en oppose d'autres : en trempant des barreaux d'acier mi-dur, dont la température s'élevait progressivement du noir au rouge très vif selon la longueur du barreau, il a

trouvé que la dureté et le carbone de trempe apparaissaient sensiblement au même point. Mais ces essais, très intéressants d'ailleurs, ne sont pas concluants non plus : il faudrait d'abord prouver que les échantillons considérés avaient réellement leurs points critiques distincts ; et, en admettant qu'il en fût ainsi, il faudrait encore savoir si la trempe a été faite en cours de refroidissement et non aussitôt après le chauffage, car les deux points critiques se réunissent toujours pendant le chauffage, bien qu'ils puissent être séparés pendant le refroidissement.

La première proposition : « Un acier qui contient beaucoup de carbone de trempe peut être doux » demande donc de nouvelles recherches. Mais la seconde : « Un acier qui contient très peu de carbone de trempe peut être dur » me paraît démontrée par la trempe des aciers doux dans les mélanges réfrigérants. Si, en effet, on applique ce procédé à des aciers de plus en plus doux, on trouve que le rapport du carbone de trempe au carbone de recuit tend vers zéro, tandis que la résistance à la traction suit une loi fort différente ; un métal extra-doux peut avoir, après ce genre de trempe, sa résistance plus que doublée et son allongement énormément réduit en présence d'une proportion tout à fait insignifiante de carbone de trempe. Ces résultats me paraissent concluants.

Il est une autre question d'interprétation sur laquelle j'ai le regret de n'être pas d'accord avec M. Howe. M. Howe identifie les points W et V de Brinell respectivement avec les points *a* et *b* de Tchernoff : *a* serait placé vers 690° et *b* vers 1050°. Nous sommes bien d'accord que $a = V = 690°$ environ. Mais, après avoir étudié attentivement le beau travail de Brinell, je conclus sans aucune hésitation, que W est, pendant le chauffage, le point réciproque de V pendant le refroidissement. W se

place donc, pour les aciers durs et mi-durs, vers 705° et non pas au-dessus de 1000°. Le point *b* de Tchernoff est autre chose : c'est la température au-dessus de laquelle le grain devient assez gros pour que son accroissement après refroidissement apparaisse au seul aspect de la cassure. Il y a là des phénomènes de cristallisation sur lesquels le carbone et le phosphore ont une grande influence ; ces phénomènes sont même un peu obscurs ; mais, à mon avis, ils n'ont aucune relation avec le changement moléculaire du fer non plus qu'avec le changement de forme du carbone. J'ai examiné cette question dans mes « Etudes Métallurgiques » qui ont été publiées par les *Annales des Mines*. Je crois donc que M. Howe, comme Tchernoff l'avait fait aussi dans une certaine mesure, réunit sous la même rubrique des phénomènes différents et qui se produisent réellement à des températures différentes.

Je ferai observer que, si l'on évalue à l'œil la température d'une barre d'acier, la surface de la barre étant plus chaude qu'à l'intérieur pendant le chauffage et plus froide pendant le refroidissement, on est conduit à exagérer l'intervalle entre V et W. Telle est peut-être l'origine de la divergence d'opinion qui subsiste entre M. Howe et moi sur la signification et la position de W.

Au surplus, quand on essaye de comparer entre elles les observations des savants qui se sont occupés de métallurgie scientifique, on est souvent fort embarrassé par l'absence d'analyses chimiques et par la diversité des procédés employés pour la mesure des températures. Il serait à souhaiter qu'un travail d'ensemble fût entrepris sous une direction unique, sur les mêmes échantillons et avec le même pyromètre.

M. le Président. — Je donne maintenant la parole à M. Evrard, si aucune observation n'est présentée, car l'ordre du jour est un peu chargé.

M. Evrard. — Je n'abuserai pas, Messieurs, des dix minutes que le règlement m'accorde ; j'ai, à l'égard du procédé d'immersion dans les bains métalliques — dont j'ai tenu, dans cette petite note qui vous a été distribuée, à n'indiquer les résultats que d'une façon très sommaire — j'ai, dis-je, une situation un peu particulière dont je vous prierai de vouloir bien tenir compte : d'abord il y a entre le Conseil de la Compagnie de Châtillon-Commentry et moi un litige dont je me garderai bien d'entretenir les membres du Congrès et que je ne rappellerais même pas si, dans une note récente qui vous a été également distribuée, la Compagnie n'avait pas cru devoir signaler à votre attention ce litige ou du moins y faire allusion. D'un autre côté, le procédé décrit dans cette petite note n'a encore été appliqué en grand, aux grosses pièces, aux blindages par exemple, que dans les usines de la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry, à laquelle je n'ai plus l'honneur d'appartenir. Il me serait très difficile de fixer moi-même les limites dans lesquelles je pourrais parler avec moins de réserve que je ne l'ai fait dans mon rapport de ce qui se passe dans les usines que je ne dirige plus. C'est une situation que vous voudrez bien apprécier.

Dans cette petite note je me suis attaché à ne citer que les faits que la Compagnie elle-même a laissé s'ébruiter, et je n'ai appuyé avec quelque insistance que sur les spécimens qu'elle a exposés aux regards de tous dans la classe 66.

Enfin, Messieurs, bien qu'il s'agisse là d'un procédé breveté dont chacun peut consulter les mémoires descriptifs et les dessins annexés au brevet et aux certificats d'addition, il y a, comme pour tous les procédés, des détails dans les formules d'application dont l'ensemble constitue ce que je pourrais appeler les tours de main du procédé. Ce sont de ces choses qui ne se livrent

généralement qu'à ceux qui achètent le droit de s'en servir ; je n'ai pas encore ici, par conséquent, la possibilité de m'étendre. Pour toutes ces raisons je vous demanderai de ne rien ajouter, en ce qui concerne la trempe au plomb, à ce que j'ai indiqué dans ma brochure et je me contenterai de maintenir ici dans toute leur intégralité les affirmations que cette brochure contient.

Il m'est impossible, vous le comprendrez, de m'aventurer sur un terrain qui est un peu glissant, de me laisser accuser peut-être d'indiscrétion, et de me laisser peut-être même emporter par ma parole devant des secrétaires armés d'une plume révélatrice. Cela dit, j'arrive à la trempe au plomb, à la théorie de cette trempe.

C'est un peu la théorie de toutes les immersions ; elle s'applique ici, dans des conditions un peu spéciales, à une fabrication particulière par le volume des pièces traitées, par les difficultés qu'il a fallu surmonter, particulière également par le genre de défaut, la tapure, qu'on a voulu surtout éviter.

Chacun, vous devez en avoir le sentiment, s'est fait, en matière de trempe, sa petite théorie. Quand un savant a construit une théorie, son premier soin, c'est toujours de la divulguer, c'est une satisfaction bien légitime, c'est même souvent la seule satisfaction qu'il retire de ses laborieuses recherches, quand ces recherches n'attirent pas sur sa tête tous les désagréments inhérents aux discussions passionnées, et vous savez qu'il n'y a rien de si passionné que deux savants qui sont aux prises avec une théorie discutée.

Quand un industriel, s'arrachant aux préoccupations de sa pratique journalière, se bâtit, lui aussi, sa petite théorie, son premier soin, au contraire, est de la conserver pour lui ; je sais même des usines — je pourrais

en citer — dont il y a ici des représentants, où ces choses-là sont enfermées à double tour dans la caisse de la Compagnie ; on leur fait l'honneur de la fermeture à secret; cela fait partie de cet ensemble dont je vous parlais tout à l'heure et qui constitue le tour de main du procédé. Il y a donc un petit antagonisme entre les industriels et les savants; ceux-ci n'aiment pas beaucoup les industriels, ils trouvent qu'ils parlent trop peu; les industriels, au contraire, aiment beaucoup les savants qui les mettent sur la voie de ce qui se passe chez les concurrents.

Messieurs, en ce qui concerne les différentes théories émises, si je vous disais ici ce que je crois et ce que j'admets dans ces différentes théories, cela équivaudrait tout simplement à vous dire quelle est la mienne et vous voyez le soin que je prends, si peu qu'elle vaille, à ne rien en dire. C'est sur ce terrain-là que je demanderai à rester. Vous avez vu tout à l'heure deux hommes distingués qui ne sont pas d'accord, vous en verriez cinquante, il est probable que le résultat serait le même.

La question est très grosse de difficultés; les industriels sont arrivés à des résultats incomplets ou erronés parce qu'ils se sont attachés, par exemple, à ne regarder que ce qui se passe dans les aciers, sans considérer la trempe à un point de vue plus général, sans considérer ce qui se passe, notamment dans les autres métaux. Il faudrait arriver à faire une théorie générale de la trempe ; il y a déjà des documents considérables ; on en entasse tous les jours ; probablement, comme je le disais tout à l'heure, il y en a beaucoup qui restent enfermés à double tour dans les caisses des Compagnies; ce mutisme aura peut-être une fin; je ne doute pas qu'en 1899, peut-être à l'Exposition de 1892 à laquelle nous avons été conviés hier si chaudement, il surgira

un Congrès de la science moléculaire et j'espère qu'à cette époque nous aurons pu tous avoir la langue déliée et apporter notre pierre à l'édifice.

M. le Président. — Nous remercions M. Evrard de ce qu'il a bien voulu nous dire...

M. Gautier. — Ce n'est pas très explicite.

M. Evrard. — J'ai fait tout ce que j'ai pu pour cela. *(Rires.)*

M. le Président. — Il y a un résultat, nous sommes en présence d'un procédé qui permet de diminuer les frais de moitié...

M. Evrard. — C'est un des résultats.

M. le Président. — Eh bien ! les hommes pratiques ne sont pas indifférents à cela, et par conséquent je remercie M. Evrard de sa communication.

M. Gautier. — Le sujet traité par M. Osmond, à la suite d'expériences d'un caractère tout à fait scientifique, est vraiment intéressant ; on peut regretter dans son travail, qui jette une véritable lumière sur la théorie de la trempe, que cette théorie contienne, outre le carbone combiné et le carbone non combiné, deux variables nouvelles, les états allotropiques du fer, mais il aura ce mérite d'avoir éclairé cette question de la trempe et d'avoir donné une explication qui n'est pas tout à fait complète encore, mais enfin qui sort du vague dans lequel on était autrefois.

En ce qui concerne la trempe au plomb, je me trouve obligé, comme M. Evrard, à rester sur la même réserve, ayant été chargé, sur l'indication de M. Evrard, lorsqu'il dirigeait la Compagnie de Châtillon-Commentry, de m'occuper de cette question pour l'Angleterre ; je n'en dirai donc pas beaucoup plus que lui, cependant

je tâcherai de vous expliquer quelques faits qui sont intéressants.

Lorsqu'on a fabriqué des blindages en fer, on a bientôt reconnu que le forgeage, le martelage, avaient introduit un grain grossier qui correspondait à un état fragile. Lorsqu'on chercha à faire disparaître ce grain on reconnut que la trempe à l'eau était un remède souverain qui rendait le grain plus homogène et communiquait une résistance plus grande au choc des projectiles.

Par suite des progrès réalisés dans l'artillerie, le blindage en fer a dû céder la place au blindage en acier. L'acier doux, lorsqu'il est en grande masse et qu'il a été soumis au laminage, présente également des traces de cristallisation qui sont loin d'être favorables à la resistance au choc. On a cherché d'abord à employer le même remède, c'est-à-dire la trempe à l'eau, mais la trempe à l'eau, — trop vive pour la nature de ce métal qui était cependant très peu carburé, mais très homogène, très condensé — produisait ce qu'on appelle des tapures ; il fallut y renoncer.

A une certaine époque, la trempe à l'huile, qui avait été d'abord imaginée pour les outils destinés à travailler le bois, a été employée pour les pièces destinées à l'artillerie : le Gouvernement français qui achetait, à ce moment, à la maison Firth, de Sheffield, des tubes, des parties de canon, a été mis au courant de cette pratique de la trempe à l'huile appliquée aux grosses pièces ; c'est donc l'artillerie française, surtout l'artillerie de marine, qui a introduit dans la pratique des usines françaises la trempe à l'huile.

La trempe à l'huile appliquée à l'acier a produit des effets analogues à ceux qui avaient été constatés avec la trempe à l'eau pour le fer ; mais, par suite des progrès de l'artillerie et de la pénétration plus grande des pro-

jectiles, on a été conduit à abandonner en partie les blindages en acier doux ; on a fait des plaques Compound qui ont une face d'acier sur une face en fer, et, pour arrêter les projectiles, on a été conduit à durcir beaucoup la face avant, qui est en acier. Dès lors il ne pouvait plus être question d'appliquer la trempe à l'eau ; la trempe à l'huile essayée également donna encore de mauvais résultats. Le point sur lequel je veux attirer votre attention, et cela sans avoir aucun autre intérêt dans la question que celui de chercher à vous éclairer, c'est que cette trempe au plomb, qui produit un certain durcissement sans avoir besoin d'un recuit, comble une lacune qui existait précisément dans la fabrication de ces grosses pièces, en permettant de rendre homogène, non cristalline, une pièce donnée d'un grand volume, par un refroidissement dans un bain métallique. Je crois qu'il y a là un procédé excessivement fécond ; à ce sujet, qu'il me soit permis de rappeler les tentatives si remarquables qui ont été faites en 1878, avec le concours de M. Euverte, pour la fabrication des pièces coulées en acier et qui ont permis dès ce moment-là déjà d'obtenir des résultats de premier ordre pour la fabrication des aciers sans soufflures ayant des propriétés analogues à celles des pièces forgées. Il manquait alors le couronnement de cette œuvre, et je crois que cette question de la transformation de pièces coulées en acier, en pièces d'une résistance comparable à celle des pièces forgées a fait un progrès immense par la trempe au plomb.

M. Euverte. — M. Gautier vient de rappeler un fait qui me donne l'occasion de faire un peu d'histoire rétrospective et en même temps de faire amende honorable. En effet, en 1878, nous avons travaillé, à Terrenoire, la question des aciers sans soufflures dans une proportion telle que nous en étions devenus un peu les

apôtres un peu plus que de raison et vous allez voir que si alors je me suis trompé, l'erreur que j'ai commise trouve aujourd'hui une solution. Nous avions fait beaucoup d'expériences sur les aciers coulés et nous étions très frappés de ce fait qu'un acier coulé donnait une résistance d'environ 35 à 40 kilos, avec peu d'allongement. Nous étions habitués, à cette époque, à admettre que l'allongement et la résistance ne pouvaient jamais augmenter ensemble, mais quelle ne fut pas ma surprise lorsqu'ayant trempé un de ces barreaux, j'en vis augmenter la résistance dans une grande proportion, en même temps que l'allongement. Je crus avoir trouvé une panacée superbe et que nous avions le moyen de couler un acier qui aurait toutes les qualités du métal forgé. Cette pensée a même été imprimée, — à mon grand regret aujourd'hui, — que l'acier coulé pouvait avoir toutes les qualités de l'acier forgé. Je me suis absolument trompé et voici comment : tous nos essais avaient porté alors sur de petites pièces, — or, toutes les parties d'une petite pièce, ne dépassant guère 30 à 40 millimètres d'épaisseur, sont accessibles au refroidissement, et dans une certaine limite l'effet de la trempe est complet comme résistance et comme allongement ; mais lorsque nous avons poussé plus loin nos expériences et que nous sommes arrivés aux grosses pièces nous n'avons plus constaté le même résultat ; il arrivait, par exemple, qu'une pièce trempée énergiquement se trouvait cassée par le milieu.

Il y avait donc dans ce procédé une lacune que nous n'avions pas devinée, il aurait fallu pour ces grosses pièces un refroidissement lent comme celui que donne la trempe au plomb ; si nous avions connu alors cette trempe ou une autre analogue, il est certain que le problème aurait été dès cette époque complètement résolu. Je remercie M. Gautier de m'avoir fourni l'oc-

casion, à propos de ce point d'histoire rétrospective, de confesser une erreur et de rendre en même temps justice aux idées nouvelles.

M. Greiner. — J'ai écouté avec le plus vif intérêt la communication de M. Osmond, je crois que l'industrie en retirera un grand profit et, comme industriel, je remercie M. Osmond des études qu'il a commencées, car il faut bien le dire, et M. Osmond partagera mon avis, il y a encore beaucoup à faire dans cette direction. Je voudrais aussi présenter quelques observations au sujet de ce que vous appelez, en France, la trempe.

Nous ne sommes pas tous d'accord sur ce mot ; certainement la trempe telle qu'on la comprenait autrefois n'est plus le phénomène que nous désignons par le même mot aujourd'hui, puisque, comme l'a dit tantôt M. Osmond, il y a la trempe positive et la trempe négative ; si nous continuons même dans cette voie, nous arriverons peut-être un jour à la trempe imaginaire. (*Rires.*) Il me semble qu'il y a un peu de confusion dans les mots et qu'on pourrait se mettre d'accord sur bien des choses, si on les entrevoyait à un même point de vue. D'abord, cette trempe négative n'est pas une trempe, l'épithète même de *négative* l'indique ; pour moi, c'est un véritable recuit. Qu'est-ce qu'on fait, en somme, quand on coule une pièce ? On prend un bain liquide, on le met dans une lingotière ou dans un moule et on le laisse refroidir ; on forme ainsi un bloc ou une pièce parfaitement compact et homogène, dont toutes les molécules se trouvent dans un état d'équilibre, — car s'il y a parmi nous des constructeurs, lequel emploierait ce bloc de métal s'il n'était pas parfaitement certain que toutes les parties de ce bloc présentent la même résistance, avec

un même coefficient d'allongement ? Personne n'est-ce pas ? Eh bien ! le refroidissement seul de ce bloc de métal donne lieu à des phénomènes, à des combinaisons dont le travail de M. Osmond rend compte, c'est d'abord la cristallisation, c'est aussi cette transformation des molécules du fer, qui passent de l'état *b* à l'état *a*. Les indications que MM. Osmond et Euverte tirent de ce phénomène me semblent extrêmement frappantes, mais je reviens à la question du refroidissement du bloc : il y a d'abord et avant tout, dans le refroidissement de ce bloc, une quantité d'influences chimiques qui viennent détruire son homogénéité, mais il y a aussi des causes physiques, qui interviennent dans le même sens, c'est-à-dire pour détruire l'homogénéité. Sait-on seulement ce qui se passe dans une pièce d'acier soumise au refroidissement, suivant sa forme ? Pour une sphère, par exemple, le refroidissement donne lieu à une quantité d'effets allant de la surface vers l'intérieur, qui n'ont pas encore été bien expliqués. C'est, à mon avis, dans cette direction qu'il faudrait que les recherches des savants fussent dirigées. Après la sphère, il conviendrait d'étudier le cube et successivement les autres formes de solides au point de vue des effets du refroidissement. Il me semble que pour obtenir un bloc ou une pièce de métal bien homogène, il y aurait lieu de rechercher d'abord quelles sont les lois du refroidissement d'un tel bloc et de s'attacher un peu plus à ce côté de la question. Ces trempes ne sont, en somme, que des recuits, c'est-à-dire que le bloc étant plus ou moins régulier, on donne à toutes ses molécules le temps de se déplacer, de chercher leur position, le temps, en somme, de se mettre en équilibre ; je ne sais pas ce que cela veut dire, mais c'est quelque chose que je ressens et qui fait que le bloc est uniforme. C'est notamment un véritable

recuit que l'on obtient à l'aide du plomb. Le plomb reprend lentement à la masse une certaine quantité de chaleur, que l'eau et l'huile reprennent également, mais avec des vitesses différentes.

Que les procédés qu'on emploie dans les usines de la Compagnie de Châtillon-Commentry ou ailleurs, pour les grosses plaques de blindage, soient des tours de main sur lesquels on désire ne pas s'expliquer, je l'admets et je reconnais que nous ne sommes pas ici pour demander des secrets de fabrication, mais il est regrettable, je dois le dire, qu'il n'y ait pas de discussion, et j'ajouterai que ce procédé a été appliqué à Seraing, *comme recuit*, à des essieux.

M. Evrard. — Je ne m'arrêterai pas à l'expérience qu'a faite M. Greiner, avec des essieux plongés dans un bain de plomb, *sans souci aucun des températures réciproques*. Tout ce qui vient d'être dit et tout ce qui s'est écrit depuis quelques années sur la trempe et le recuit montre que dans ces opérations il est absolument indispensable d'approprier la température aux métaux sur lesquels on opère. Il y a dans les courbes de dilatation ou de refroidissement des points singuliers qu'il faut bien connaître, si l'on ne veut pas faire une opération inconsciente.

M. Greiner dit que ma trempe au plomb est un simple recuit, c'est une erreur manifeste.

Le recuit d'une pièce d'acier est caractérisé : 1° par une élévation de température pratiquée dans des conditions déterminées ; 2° par une augmentation de l'allongement ; 3° par une diminution de résistance.

Le contraire a lieu pour la trempe. Or, quand je prends une plaque de blindage à 1100°, que je la plonge dans un bain de plomb fondu à 400°, qu'est-ce que j'obtiens : 1° une chute de température ; 2° une

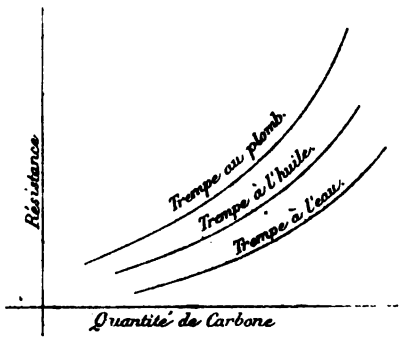
légère diminution de l'allongement; 3° une augmentation de résistance de 20 à 25 p. °/₀. C'est donc une trempe et une trempe *bien positive*, puisqu'on tient à cette expression.

M. Euverte. — M. Greiner paraît tenir beaucoup à admettre que c'est un recuit et que ce n'est pas une trempe ; je trouve, quant à moi, que le mot « trempe négative » répond, au contraire, parfaitement à la question. Qu'est-ce, en effet, que l'opération qu'on fait subir à un gros bloc d'acier en le trempant dans un bain de plomb ? C'est un refroidissement brusque, mais dans lequel la température ne peut pas descendre au-dessous d'un certain niveau, qui, s'il était dépassé, pourrait donner lieu à des tapures. Il me semble que cette opération présente bien le caractère de la trempe, et non pas celui d'un recuit. Je m'associe donc au mot de « trempe négative ».

M. Gautier. — L'action de la trempe au plomb varie, en somme, avec la quantité de carbone que contient l'acier ; si on se reporte à la série des échantillons d'acier trempé qui figurent à l'Exposition, on constate qu'il y a toute une série de trempes.

Quand on représente, par les ordonnées par exemple, la résistance d'un acier, et par les abscisses les quantités de carbone, et qu'on trace les courbes qui correspondent respectivement à la résistance d'un acier dont la teneur en carbone croît, on constate que lorsqu'on le soumet à la trempe au plomb, à la trempe à l'huile et à la trempe à l'eau, on obtient des courbes parfaitement régulières telles que celles qui sont tracées ci-après; c'est-à-dire que lorsque la teneur en carbone croît on obtient des accroissements de résistance par la trempe au plomb; si, au contraire, on trempe à l'huile on a une courbe à peu près du même genre correspondant en-

core à des résistances supérieures à celles que l'on obtiendrait par la trempe à l'eau, dans les limites où il n'y a pas de tapures. Si maintenant on construisait une autre courbe présentant les allongements, on trouverait que les allongements sont beaucoup plus grands avec la trempe au plomb qu'avec la trempe à l'huile et à l'eau.



C'est donc un phénomène essentiellement continu et qui agit non seulement sur les aciers doux,mais aussi sur les aciers carburés. Il paraît certain qu'on pourrait arriver même avec la trempe au plomb à produire des tapures avec des aciers suffisamment carburés. Je ne sais si M. Evrard a fait des expériences jusqu'à cette limite, mais cela serait intéressant.

M. Evrard. — M. Euverte a parfaitement précisé le but de la trempe au plomb ; ce qu'il y a de pratique dans ce procédé pour les grosses pièces, c'est, en effet, d'éviter les tapures. Il serait difficile de tremper un bloc d'acier de 40 tonnes à l'huile, quand il a une teneur de 0,45 p. °/₀ de carbone, sans risquer de perdre une somme de 40 à 50.000 francs ; cette opération, si elle se répétait souvent, deviendrait donc un désastre financier,

tandis qu'on peut, par ce procédé de trempe, arriver à tremper des blocs qui dosent 1 p. °/₀ de carbone et qui contiennent 1 et demi p. °/₀ de chrome, sans avoir de tapures; par conséquent le résultat principal est de permettre de pousser très loin la dureté des pièces.

M. Gautier. — Vous n'avez pas fait croître la teneur en carbone des aciers jusqu'à la limite où il se serait produit des tapures, avec ce procédé de trempe ?

M. Evrard. — Nous n'avons pas essayé.

M. Le Châtelier. — Je désirerais, en tant que chimiste, présenter quelques observations sur la question de relation qui existe entre la grosseur du grain et les propriétés mécaniques : cette relation n'est pas particulière au fer; elle possède des analogies assez nombreuses en chimie sur lesquelles on peut s'appuyer pour arriver à se rendre compte de ce changement de grain sous l'influence de la trempe. Quand un corps éprouve une transformation moléculaire dans un état où il est mou, il se produit, peu à peu, une orientation des cristaux qui peuvent être volumineux, mais lorsque la transformation se produit dans un corps solide le phénomène se passe d'une façon différente; il se produit alors des surfaces de rupture qui, dans un corps dur et cristallin, amènent une désorganisation complète. Je citerai, par exemple, la litharge, qui, fondue et refroidie lentement, se transforme à une température voisine de 400 degrés; à ce moment il se produit dans tous les sens une infinité de petites fissures qui provoquent un changement de grain; il est même tel que la masse se désagrège. La grosseur du grain dépend donc beaucoup de l'état plus ou moins mou dans lequel le corps se trouve au moment où a lieu sa transformation.

Dans l'acier la transformation du grain se fait nor-

malement à une température voisine de 7 à 800 degrés ; or, si l'on amène cette transformation à se produire à une température plus basse, les conditions de transformation ne sont plus les mêmes; le métal est devenu plus dur et cela suffit pour expliquer le changement de grosseur du grain. L'abaissement du point de transformation peut s'obtenir comme pour la litharge, le soufre, par un refroidissement qui soit suffisamment rapide, sans pourtant l'être assez pour s'opposer complètement à la transformation et produire une trempe proprement dite.

Le fait du changement de grain par la trempe au plomb résulterait simplement de ce que la transformation est abaissée à une température à laquelle le métal n'est plus suffisamment mou pour permettre l'orientation des molécules du métal en gros cristaux.

M. Lencauchez. — Je voudrais faire remarquer que la trempe au plomb s'est pratiquée il y a au moins 25 ans, mais tout à fait dans d'autres conditions...

M. le Président. — Je crois qu'il vaudrait mieux ne pas aborder cette question. (*Approbation.*)

Messieurs, il me reste à remercier les orateurs qui ont bien voulu prendre part à cette discussion qui a été fort brillante, malgré la réserve qu'ils se sont imposée.

Nous avons maintenant quelques questions en dehors du programme ; il y en a deux sur lesquelles on pourrait se prononcer : la première est au nom de Balthazar Maussier, qui désire traiter la fabrication de l'aluminium et de ses alliages. M. Balthazar Maussier n'est pas là ?..

M. Balthazar Maussier, ingénieur civil à Saint-Galmier (Loire), empêché d'assister à la séance du Congrès, a

envoyé la note suivante sur la fabrication métallurgique de l'aluminium et de ses alliages (brevet du 17 novembre 1888).

Le but à atteindre est de dissocier le silicate des argiles, bauxites, etc., de réduire l'alumine et de séparer l'aluminium par une liquation ; on purifie ensuite le métal.

Ces trois périodes ou opérations peuvent se faire successivement ; et mieux encore, dans le même four sans interruption.

La partie essentielle du brevet consiste dans l'emploi de *bains métalliques* réalisant les conditions nécessaires. Le manganèse, le chrome, en forte proportion dans la fonte de fer, sont les réducteurs et dissolvants de l'aluminium. — La fluorine, le carbonate de soude, le sel marin, sont les dissociants des silicates. Le refroidissement convenable, au voisinage immédiat des bains métalliques, occasionne cette *dissociation* d'après les principes posés par Henri Sainte-Claire Deville ; l'addition de charbon est aussi nécessaire.

On peut faire varier les éléments des réactions ci-dessus, suivant l'état chimique du minerai : alumine libre, fluorure ou chlorure d'aluminium.

Les parois des fours ou creusets doivent être exemptes de silice.

L'objet de notre brevet est unique dans chacune des trois périodes ou opérations distinctes qu'il comporte :

Désilicification

Nous enlevons la silice des argiles, bauxites, etc., par la fluorine ou par le carbonate de soude ; ces réactions ayant été mises isolément dans le domaine public, par M. Teissié du Mottey, en ce qui concerne l'action de la fluorine par voie sèche sur les silicates, par Henri Sainte-Claire Deville, pour la séparation de l'alumine par l'acide carbonique ; et même la chaux peut être

substituée au carbonate de soude, comme il est dit par M. Jules Gay, page 28 de son compte rendu des travaux d'Henri Sainte-Claire Deville (Gauthier-Villars, imprimeurs, 1889.)

Enfin la silice pourra également se dégager de l'aluminium à l'état de fluorure par l'acide fluorhydryque, ou de chlorure par les différents moyens donnés par Henri Sainte-Claire Deville.

Notre réduction de l'alumine s'opère par la fonte manganésée ou chromée, avec refroidissement de l'atmosphère ambiante du bain métallique, dans les conditions nécessaires à la *dissociation*. Le silicium de la fonte dite silico-spiegel est aussi un réducteur. Réduction.

Lorsque l'alumine désilicifiée sera employée à l'état de fluorure d'aluminium ou de chlorure d'aluminium, le départ du fluor ou du chlore sont obtenus par nous, métallurgiquement, au moyen d'un *bain métallique* d'une température convenable. Ainsi le fluorure d'aluminium par un bain de fonte de fer, avec addition de silicium par l'argile, le silico-spiegel, ou un courant d'hydrogène carburé. Pour le chlorure d'aluminium, nous employons le plomb comme bain métallique, avec addition d'alumine, ou le cuivre, zinc et au besoin un courant d'hydrogène carburé. Dans tous les cas, nous refroidissons l'atmosphère ambiante du bain pour obtenir la *dissociation* et le refroidissement des vapeurs.

La scorie sera du carbonate de soude et charbon, condition où il peut se dégager du sodium ; ou bien du sel marin, ou enfin de la fluorine.

L'originalité du brevet est dans l'emploi d'un *bain métallique*, avec refroidissement de l'atmosphère ambiante.

Liquation et purification de l'aluminium.

Les alliages de l'aluminium sont recueillis par nous dans des lingotières subitement refroidies ou rotatives, pour obtenir la séparation de l'aluminium par ordre de densité. Et ce dernier est purifié par les méthodes ordinaires.

Les alliages proprement dits ayant retenu l'aluminium dans les lingotières seront vendus comme tels, ou bien ils seront soumis à de nouvelles liquations ; le plomb sera coupellé.

Appareils employés.

Les parois réductrices en graphite des cornues à gaz ou en fer, ou fonte, refroidies extérieurement, sont évidemment les conditions nécessaires pour la réduction avec nos bains métalliques. En présence des vapeurs de fluorures ou chlorures et même d'acides fluorhydrique ou chlorhydrique, il faut évidemment aussi des parois de graphite ou autres substances à l'abri de ces vapeurs refroidies, parois qui pourront être en plomb s'il s'agit de fluor, porcelaine ou grès s'il s'agit de chlore. Et nous recueillons ces vapeurs.

La forme des appareils est celle qui convient le mieux parmi les dispositions usitées en métallurgie.

M. le Président. — L'ordre du jour appelle ensuite une communication de M. Barthélemy sur l'amalgamation des minerais d'or, par les sels solubles de mercure.

M. Barthélemy. — Cette note avait été rédigée à la demande de M. Fuchs qui avait l'intention de prendre part à la discussion ; cette communication n'ayant plus le même intérêt par suite du décès de notre regretté collègue, je propose au Congrès de la faire figurer seulement dans le compte rendu.

Procédé d'amalgamation au bichlorure de mercure.

Le procédé d'amalgamation au bichlorure de mercure ou procédé Désignolle, du nom de son inventeur, consiste à amalgamer les métaux précieux contenus

dans les minerais, non plus avec du mercure métallique, mais à l'aide d'une solution acide de bichlorure de mercure en présence du fer.

Il se forme ainsi de petits couples électrolytiques de fer et du métal précieux, qui décomposent le sel mercurique, et le mercure à *l'état naissant* se fixe sur le métal à amalgamer. Ce procédé a le double avantage d'amalgamer plus complètement et plus rapidement qu'avec le mercure métallique, car l'amalgamation est instantanée.

Pour les minerais argentifères, par exemple, on amalgame ainsi en une demi-heure ce qui exige 24 heures avec le mercure métallique par le procédé de Freiberg.

Le procédé s'applique surtout aux minerais pauvres, c'est-à-dire à ceux qui ne sont pas assez riches pour payer les frais de traitement par fusion. Il est en effet facile de comprendre que tout procédé qui traite des minerais simplement pulvérisés laisse dans les résidus une certaine proportion de matière précieuse, car les réactifs employés ne peuvent pas agir dans l'intérieur des grains, aussi petits qu'ils soient. Cette proportion est d'autant plus grande que le minerai est plus riche, tandis que les procédés par fusion, liquéfiant la matière, ne laissent dans les scories qu'un quantum fixe, quelle que soit la teneur du minerai travaillé. Il y a donc une teneur éminemment variable selon les conditions spéciales de chaque contrée, à partir de laquelle la valeur laissée dans les résidus, additionnée aux frais de traitement, est supérieure aux frais de fusion. C'est à partir de cette teneur qu'il n'est plus avantageux de traiter les minerais par amalgamation.

En Hongrie, où le procédé au bichlorure a été installé pour traiter les minerais d'argent et où l'Etat possède des fonderies dans chaque région minière, où le

combustible est à très bon marché et où les minerais plombeux abondent, la teneur maxima des minerais à traiter par amalgamation est de 1.000 à 1.500 grammes d'argent par tonne, tandis que la teneur minima au-dessous de laquelle les frais sont supérieurs à la valeur du produit est de 250 grammes par tonne.

Appareils spéciaux.

Les appareils spéciaux à l'amalgamation, par le procédé Désignolle, sont les suivants :

1° Amalgamateur ;
2° Malaxeurs accouplés ;
3° Appareils à plaques amalgamées rotatives.

1° Amalgamation.

L'amalgamateur est un cylindre de fonte de 2 mètres de long et 1 mètre de diamètre roulant sur galets et contenant environ 500 kilogrammes de boulets de fonte qui triturent la matière en même temps qu'ils fournissent le fer nécessaire à la réaction électrolytique, jouant un rôle à la fois chimique et mécanique. On y introduit par un autoclave environ 500 kilogrammes de minerai finement pulvérisé, puis, par un entonnoir latéral, la quantité d'eau nécessaire pour former avec le minerai une bouillie épaisse, plus la quantité nécessaire de sel mercurique. On laisse tourner le baril le temps convenable, variable selon qu'il s'agit de minerai aurifère ou de minerai argentifère, puis on remplace la porte pleine par une porte grillée ne laissant pas passer les boulets et on lave le tout à l'aide d'un courant d'eau arrivant par l'entonnoir central.

2° Malaxeurs accouplés.

La matière tombe alors dans les malaxeurs accouplés qui ont pour but de recueillir la plus grande partie de l'amalgame formé et aussi de retenir les particules qui pourraient nager à la surface de l'eau. Ils consistent en deux réservoirs en tôle dont le fond, très légèrement

conique, est garni d'une petite couche de mercure métallique et muni à la partie centrale d'un robinet de décharge.

Dans ces réservoirs se meuvent des agitateurs munis de dents de peigne, qui tiennent la matière en suspension et nettoient constamment la surface du mercure : le premier des malaxeurs, celui qui reçoit directement la matière de l'amalgamateur, ne communique avec le second que par un tuyau situé environ au quart de la hauteur. De cette façon toutes les particules qui pourraient nager à la surface de l'eau ne peuvent être entraînées.

Le second malaxeur possède trois robinets latéraux, inégalement ouverts suivant les proportions de matières lourdes et légères que contient le minerai, et par lesquels il s'écoule sur l'appareil à plaques. De temps en temps on extrait un peu de mercure par le robinet inférieur et on le filtre pour en séparer l'amalgame. Le mercure filtré est sans cesse remis dans l'appareil.

3° Appareils à plaques.

L'appareil à plaques amalgamées rotatives est destiné à retenir à la surface des plaques les fines particules d'amalgame qui ont pu être entraînées. Il se compose de 5 cônes très évasés de cuivre amalgamé, entraînés dans un mouvement de rotation par un axe vertical, et de 5 cônes renversés fixes, espèces d'entonnoirs ramenant vers le centre de la plaque inférieure la matière provenant de la plaque supérieure.

Ces cônes renversés sont coupés en quatre, et chaque secteur s'applique sur une des portes de l'appareil qui, quand il est fermé, a l'aspect d'un grand cylindre vertical de 2 mètres de haut et 1 mètre de large. Cet appareil présente les avantages suivants sur les plaques fixes usitées en Amérique :

1° Grande surface amalgamée sous un petit volume ;

2° Propreté constante des surfaces de plaque par suite de leur courbure spéciale et de leur rotation ;

3° Adhérence plus complète de l'or, d'abord parce qu'il arrive déjà à l'état amalgamé dans l'appareil, et ensuite parce qu'il est projeté avec force sur les plaques (la matière est ainsi projetée 10 fois d'une plaque sur l'autre) ;

4° Difficulté des vols par suite de la possibilité de fermer à clef l'appareil.

L'appareil à plaques ne sert qu'en cas de traitement de minerais aurifères. En cas de traitement de minerais argentifères, l'amalgame doit être rassemblé dans l'amalgamateur même, à l'aide de mercure métallique provenant de la filtration de l'amalgame des malaxeurs, et l'appareil à plaques est remplacé par un second jeu de malaxeurs accouplés.

De même que les appareils, la manière d'opérer diffère, comme nous venons de le voir, selon qu'il s'agit de minerais purement aurifères, de minerais purement argentifères ou de minerais mixtes. Nous examinerons successivement chaque cas.

Minerais purement aurifères.

Dans cette catégorie sont compris les minerais ne tenant que la petite quantité d'argent toujours alliée à l'or.

Ces minerais s'amalgament de la façon la plus complète et la plus rapide, surtout si l'or est à l'état libre. Dans ce dernier cas, le procédé Désignolle n'est pas indispensable, mais il est toujours préférable, parce que la valeur du procédé ne dépend pas de l'état physique de l'or, comme ceux au mercure métallique, et que l'or s'amalgame aussi bien, qu'il soit « rouillé » ou non.

Le procédé au bichlorure devient cependant indispensable, même en présence de l'or libre, quand les minerais sont des schistes argileux (soapstone). Il est, en

effet, fort difficile de retirer l'or de semblables minerais, car il ne peut pas être pris sur les plaques amalgamées à cause de l'enduit graisseux que la gangue forme à leur surface, et, si on veut employer le mercure métallique, il se divise tellement que, non seulement l'or n'est pas pris, mais qu'on perd encore une grande quantité de mercure. Tous ces inconvénients disparaissent avec le procédé Désignolle où l'or ne peut pas échapper à la réaction électrolytique indiquée plus haut, c'est-à-dire à l'amalgamation, et où les plaques amalgamées doivent fixer non plus de l'or métallique, mais de l'amalgame déjà formé.

Lorsque l'or se trouve dans des pyrites (sulphurets), il s'amalgame aussi la plupart du temps, mais la réunion de l'amalgame devient difficile par suite du grand poids spécifique de la matière et du mélange intime que forme la pyrite avec le mercure des malaxeurs.

Dans ce cas, il est toujours préférable et même quelquefois indispensable de griller préalablement le minerai. Les résultats sont toujours bons lorsque les minerais pyriteux sont ainsi grillés, surtout quand le grillage a lieu en présence de la vapeur d'eau.

Comme exemple du traitement par le procédé Désignolle sur des minerais aurifères pauvres, voici les résultats de 10 jours de travail à Haile mine (Caroline du Sud).

Les minerais (schistes avec mouches de pyrites) étaient d'abord pulvérisés dans des bocards contenant des plaques de cuivre amalgamé, intérieures et extérieures. Tout l'or libre facilement amalgamable était donc déjà retenu par ce moyen. Le minerai passait ensuite sur des concentrateurs qui en séparaient les pyrites (sulphurets). On avait donc ainsi deux produits bien différents : d'une part, les boues schisteuses (slimes) ; d'autre part, les pyrites.

Tous deux étaient amalgamés de nouveau par le procédé Désignolle, chargé de prendre l'or échappé aux plaques des bocards.

Voici les résultats de quelques jours de travail.

DATES	ESPÈCE DE MINERAI	QUANTITÉ traitée en mesures anglaises.	TENEUR du minerai à la tonne, en dollars.	TENEUR des résidus, en dollars.
Mai 24	Concentrations grillées (sulphurets).....	18.000	5,41	0,60
» 25	Concentrations grillées	20.400	4,81	traces.
» 26	Boues id.	26.400	3,62	0,30
» 27	Id. id.	22.800	3,62	traces.
» 29	Id. id.	28.800	3,62	id.
» 30	Id. id.	21 200	2,40	id.
» 31	Id. id.	24.600	7,23	0,30
Juin 1	Id. id.	21.000	5,42	0,15
» 2	Id. id.	27.300	4,82	0,60
» 3	Id. id.	19.800	2,70	0,45

L'amalgamation proprement dite (sans grillage), y compris les pertes en mercure, coûtait $0^d,40$ par tonne, de sorte que, bien que les minerais fussent très pauvres, il y avait encore bénéfice à les traiter.

Minerais argentifères.

Dans cette catégorie sont compris les minerais d'argent ne tenant qu'une très petite quantité d'or.

Les minerais argentifères, susceptibles d'être traités par amalgamation, sont ceux qui ne contiennent pas plus de 5 p.°/₀ de plomb. Au-delà de cette teneur, le procédé par fusion est préférable.

Dans les mines de Hongrie, où le procédé a été installé, l'argent se trouve quelquefois à l'état de sulfure simple (argyrose, argentite), mais il se trouve le plus souvent dans des minéraux complexes tels que : pyrargyrite, proustite, bournonite, tetraedrite, polybasite, etc., ce qui rend son extraction fort difficile. Il est aisé de

concevoir que, dans ces conditions, le petit courant électrolytique produit n'est pas suffisant pour dégager l'argent de ses combinaisons avec le soufre, l'arsenic ou l'antimoine. Il faut donc préalablement détruire ces composés, ce qu'on obtient en grillant le minerai avec du chlorure de sodium, qui transforme l'argent en chlorure d'argent. C'est ce qu'on appelle *grillage chlorurant* par opposition au simple grillage, ou *grillage oxydant* qui se fait sans sel. L'amalgamation du minerai chloruré se fait ensuite très facilement et très complètement, car, en présence du fer des amalgamateurs, on obtient à la fois de l'argent et du mercure, *tous deux à l'état naissant*, qui se combinent immédiatement. On opère de la même façon que pour les minerais d'or, avec cette différence que la quantité de bichlorure employé doit être plus grande, et qu'on ajoute à la fin de l'opération du mercure métallique dans les amalgamateurs même, afin de rassembler l'amalgame. C'est pourquoi l'opération est plus longue avec les minerais d'argent qu'avec les minerais d'or et qu'il est nécessaire d'avoir *quatre amalgamateurs* pour faire le même travail qu'avec deux amalgamateurs traitant des minerais aurifères.

On amalgame même de cette façon, non seulement l'argent, mais bien encore une grande partie des autres métaux électro-négatifs par rapport au fer, tels que : cuivre, plomb et zinc (ce dernier métal ne se retrouve pas dans l'amalgame, car, en présence de la dissolution d'un sel de fer, il passe en solution et est remplacé par une quantité équivalente de fer dans l'amalgame.)

Voici le résultat d'une opération de 10 jours à l'amalgamation de Nagy-Banya (Hongrie), opération suivie du nettoyage complet des appareils et de la distillation, non seulement de l'amalgame produit, mais encore de la totalité du mercure ayant servi aux expériences. Ces résultats sont donc complets.

Amalgamation de Nagy-Banya (Hongrie). — Travail du 15 au 30 octobre 1886.

DATES	NATURE des MINERAIS	QUANTITÉ traitée.	TENEUR DES MINERAIS					TENEUR DES RÉSIDUS				AMALGAME RETIRÉ		OBSERVATIONS
			OR		ARGENT			OR		ARGENT				
			à la tonne.	totale.	à la tonne.	totale.	Degré de chloruration.	à la tonne.	totale.	à la tonne.	totale.		TENEUR en argent.	
		kg.	gr.	gr.	gr.	gr.		gr.	gr.	gr.	gr.	kgs.	gr.	
15		4.000k	3	12	414	1.656g	89	1	4	60	240	59	1.373g	
16	Mélange	5.500	2	11	414	2.277	89	1	5,5	50	275	79	1.883	
17		5.500	2	11	414	2.277	89	1	5,5	40	220	54	2.092	
18	de 50 p. °/. de	5.000	3	15	425	2.125	89	1	5	40	200	90	2.187	
19	minerai	5.000	3	15	425	2.125	90	1	5	40	200	69	1.992	
20	quartzeux	2.000	4	8	391	782	90	2	4	40	80	40	1.332	
21		4.500	3	13,5	391	1.759	91	1	4,5	50	225	35	1.080	
22	avec argentite,	5.000	3	15	414	2.070	92	1	5	40	200	69	1.790	
23		3.000	4	12	460	1.380	92	1	3	40	120	41	1.048	
24	de 30 p. °/.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	50	1.941	Nettoyage des appareils.
25	de minerai	4.000	4	12	437	1.748	90	2	8	100(?)	400	18	306	
26	à sulfures	5.500	3	16,5	437	2.403	90	1	5,5	40	220	49	833	
27		5.500	2	11	678	3.729	90	1	5,5	40	220	70		
28	complexes	6.000	3	18	590	4.068	91	1	6	40	240	92	4.254	
29	et 20 p. °/.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	113	3.789	Nettoyage des appareils.
30	de pyrites.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2.669	Filtration du mercure.
		60.500				28.399			66,5		2.840	928	28.459	

La teneur des 128 kilog. d'amalgame ainsi obtenus était la suivante :

Or.....	0k 110g	ou	0,01 p. °/₀
Argent.....	28 459		3,06
Cuivre.....	103 200		11,12
Plomb.....	2 200		0,23
Fer.....	4 800		0,51
Mercure.....	789 231		85,04
	928 000		99,97

On voit donc que, dans l'exemple cité, c'est-à-dire avec des minerais pauvres en argent et très pauvres en or, il a été amalgamé environ 65 p. °/₀ de l'or et 100 p. °/₀ de l'argent. On obtient presque toujours, comme dans le cas présent, une quantité d'argent supérieure à celle indiquée par l'analyse ; cela tient à ce que les résultats donnés par l'essai par voie sèche sont toujours trop faibles.

Si maintenant on compare les résultats des analyses avant et après traitement, on voit qu'il a été amalgamé seulement 61 p. °/₀ de l'or et 90 p. °/₀ de l'argent. Mais, dans ce cas, l'erreur est en sens inverse parce que 1.000 kilog. de stériles correspondent environ à 1.200 kilog. de minerai, puisque toutes les parties rendues solubles par le grillage ont été enlevées pendant le traitement. En réalité, on peut admettre que, pour les minerais argentifères dits d'amalgamation, la proportion amalgamée est de 95 p. °/₀ environ.

Minerais mixtes.

Dans cette classe sont compris les minerais tenant des quantités également importantes d'or et d'argent.

Ce sont des minerais ordinairement très difficiles à traiter par amalgamation, parce qu'ils sont généralement de composition fort complexe. Un autre inconvénient se présente encore : si on pratique simplement le

grillage oxydant, on obtient l'or, mais l'argent n'est qu'imparfaitement amalgamable ; si on pratique le grillage chlorurant, l'argent devient complètement amalgamable, mais une notable quantité de l'or se transforme en un sous-chlorure qui n'est plus amalgamable.

Le meilleur moyen d'obtenir tout le métal serait donc de griller d'abord le minerai pour en obtenir l'or, puis de chlorurer les résidus et de les amalgamer une seconde fois, pour en obtenir l'argent. Mais, cette opération coûterait plus cher que la fusion, dans les pays du moins tels que la Hongrie, où elle se fait dans des conditions économiques.

Frais de traitement.

Pour l'amalgamation des minerais aurifères américains, dont il a été parlé plus haut, les frais de traitement s'élevaient à $0^{d},40$ (2 fr.) par tonne, y compris les pertes en mercure. Pour les minerais réfractaires, il fallait ajouter les frais de grillage qui s'élevaient à environ $1^{d},50$ (7 fr. 50) par tonne dans la Caroline du sud.

L'amalgamation des minerais argentifères coûte plus cher à cause de la chloruration, de la plus grande durée de l'amalgamation (ce qui oblige à employer 4 amalgamateurs, au lieu de deux, pour faire le même travail) et enfin parce que les pertes en mercure sont plus grandes.

Voici la moyenne des frais de traitement, par tonne, des minerais argentifères de Nagy-Banya (Hongrie) ;

Grillage (y compris le sel).....	8,00	florins.
Tamisage et amalgamation.	1,50	—
Régénération du bichlorure....	0,50	—
Perte en mercure (500 gr. par tonne)...	1,00	—
Distillation et raffinage.....	0,50	—
Frais généraux, amortissements, etc....	p^{r} mémoire.	
	$11^{f},50$	

soit environ 23 fr.

A Schemnitz, où le combustible est plus cher, les frais de grillage chlorurant s'élèvent à 10 florins par tonne.

Remarques diverses.

Bien qu'il n'ait été fait ici nulle part mention de la pulvérisation, il est bien entendu que les minerais doivent parvenir à l'amalgamation aussi finement pulvérisés que possible, comme pour tous les procédés autres que la fusion.

Le bichlorure de mercure employé est complètement décomposé pendant l'amalgamation, le chlore se combinant au fer et le mercure au métal amalgamé. Il est sans cesse régénéré sur place par simple dissolution du mercure métallique dans l'eau régale. C'est cette régénération qui entre dans les frais de traitement pour 0f,50 par tonne.

La quantité d'eau nécessaire aux manipulations varie avec le poids spécifique du minerai. On peut admettre une moyenne de 5 mètres cubes d'eau par tonne de minerai.

Conclusions.

Comme on le voit par l'exposé ci-dessus, le procédé d'amalgamation aux sels solubles de mercure n'est pas un procédé universel, s'appliquant également bien à toute espèce de minerais. Nous croyons cependant que, dans l'état actuel de la métallurgie des métaux précieux, c'est un des meilleurs qu'on puisse appliquer à certaines catégories de minerais, qui sont :

1° Minerais aurifères à or libre ;

2° Minerais aurifères non directement amalgamables, jusqu'à une teneur de 100 gr. par tonne environ ;

3° Minerais argentifères avec un minimum de 250 gr. d'argent et un maximum de 5 p. °/₀ de plomb et de 1.500 gr. d'argent environ par tonne.

M. Manhès. — J'avais préparé une note, mais en voyant combien était déjà chargé l'ordre du jour de la séance, je n'ai pas pensé qu'elle pourrait venir en discussion, je la remettrai, afin qu'elle puisse être insérée au compte-rendu.

Jusqu'ici, deux méthodes principales étaient en usage pour le traitement des minerais de cuivre :

1° La méthode Galloise, caractérisée par l'emploi exclusif du four à réverbère, comprenant six opérations successives de fusions et grillages, pour transformer les minerais en cuivre métallique, et exigeant une consommation de 14 à 17 tonnes de houille par tonne de cuivre produit ; cette méthode n'a pu être appliquée avantageusement que dans les contrées où le combustible est à très bon marché, et surtout dans les usines établies aux environs de Swansea (Angleterre) ;

2° La méthode, dite continentale, employant le four à réverbère pour les grillages et le four à manche pour les fusions ; comportant, suivant la nature et la richesse des minerais, de quatre à cinq opérations, et consommant de sept à dix tonnes de combustibles par tonne de cuivre produit. Elle est appliquée en Suède, en Allemagne, en Russie, et, en général, dans tous les pays où le combustible est à prix élevés.

Par suite de considérations économiques, la méthode continentale lutte difficilement contre les procédés anglais, aussi une partie très importante des minerais du monde entier vient-elle se faire traiter dans les usines de Swansea.

Le procédé que j'ai réussi à appliquer, après de longues études, a pour but de simplifier ces deux méthodes, d'en diminuer considérablement les frais de traitement et, comme je l'ai dit, il est basé sur l'emploi du

convertisseur Bessemer modifié, modification que je vais d'abord décrire rapidement.

Si l'on traite de la matte cuivreuse comme je vais l'expliquer, dans un convertisseur Bessemer ordinaire, le cuivre métallique, à mesure qu'il se produit, vient, en vertu de sa densité, se déposer sur les orifices des tuyères verticales placées au fond de l'appareil; il se fige au contact du vent froid, et l'opération s'arrête promptement, le vent ne pouvant plus arriver dans les matières en traitement.

Avec le convertisseur modifié suivant le dessin (Pl. XIX, Fig. 1 et 2) que j'ai l'honneur de vous soumettre, ou tout autre disposé dans le même ordre d'idées, on peut, au contraire, pour ainsi dire, faire arriver le vent dans l'intérieur de l'appareil, au point précis où son action doit se produire, et notamment élever graduellement le niveau d'arrivée du vent, à mesure que le fond du convertisseur se remplit de cuivre métallique ; on amène ainsi l'appareil, à volonté et suivant les périodes de l'opération, dans les quatre positions représentées par les figures 3, 4, 5 et 6.

Mon procédé est caractérisé par la suppression complète de tous les grillages, et le traitement de tous les minerais, quelle que soit leur nature ou leur richesse, est réduit à une seule opération ; une fonte crue dans un four quelconque élimine les gangues terreuses et réunit les parties métalliques en une matte qui est coulée directement dans le convertisseur et soumise à l'action du vent forcé qui, grâce à une action oxydante énergique, la transforme en quelques minutes en cuivre brut titrant 98 à 99 p. °/₀ de cuivre pur ; le traitement ne demande d'autre combustible que celui nécessaire pour la fusion du minerai, car, dans le convertisseur, la température est maintenue très élevée par la combus-

tion du soufre et du fer qui contient toujours la matte traitée.

Les avantages des procédés peuvent se résumer ainsi :

1° Réduction du traitement en une seule opération, tout à la fois simple, rapide et économique;

2° Dépense de combustible ne dépassant jamais une tonne et demie à deux tonnes par tonne de cuivre produit ;

3° Diminution de 50 p. °/₀ environ dans les frais de main-d'œuvre.

Au début, l'application de cette méthode a rencontré une vive opposition de la part des ouvriers et a eu à lutter contre la routine, mais elle est aujourd'hui appliquée avec un succès complet dans presque tous les pays producteurs de cuivre et notamment dans les usines suivantes :

Usines d'Eguilles (France) ;
Parrot Copper C°, à Butte-City (Etats-Unis) ;
Vivian et Son, à Swansea (Angleterre) ;
Cie de Lota, à Lota (Chili) ;
Société métallurgique italienne, à Livourne (Italie) ;
Mines de Rsas (Norwège) ;
Mines de Bratsberg (Norwège) ;
Société de Lanteira (Espagne) ;

D'autres usines sont en construction dans divers pays.

En résumé, ce nouveau procédé a l'avantage de permettre le traitement de tous les minerais de cuivre sur les lieux même de production et quel que soit, pour ainsi dire, le prix des combustibles.

Des mines de cuivre ont été inexploitées, quoique riches, par suite de la difficulté de trouver un écoule-

ment facile et économique des minerais ; mon procédé, en réduisant dans une large mesure la dépense de combustible, en simplifiant les opérations, facilitera la reprise de ces exploitations.

Je dois ajouter, en terminant, que, à la suite de nouvelles études, j'ai réussi à appliquer ce même procédé à la métallurgie du nickel, jusqu'ici compliquée et aujourd'hui aussi simple que celle du cuivre.

Les minerais de nickel sont simplement fondus pour convertir le métal dans une matte qui, après quelques minutes de soufflage au convertisseur, est transformée en nickel brut titrant 90 à 96 p. °/₀ de métal pur, dont le raffinage est ensuite facile par les procédés ordinaires.

L'installation de ce procédé pour le nickel est en préparation dans plusieurs usines, et il n'est pas douteux qu'elle contribuera à abaisser le prix de revient d'un métal susceptible de nombreuses applications dans l'industrie.

Telles sont, Messieurs, les explications que j'ai voulu soumettre au Congrès, le cadre de ces communications ne m'a permis de m'étendre davantage, mais je reste à la disposition des Membres du Congrès pour leur fournir les renseignements complémentaires qu'ils pourraient être dans le cas de me demander.

M. le Président. — M. Lencauchez a la parole pour une communication.

M. Lencauchez donne lecture d'un mémoire sur l'affinage pour acier et fer fondu.

§ 1. — *Rapidité de l'affinage dans les cornues Bessemer, en Amérique.*

Dans une intéressante communication, M. Henry

Howe nous a dit que l'affinage au convertisseur Bessemer, au lieu de durer 25 à 30 minutes comme en Europe, ne durait en Amérique que 8 à 10 minutes.

Si en Amérique, on met de 2 à 3 fois moins de temps qu'en Europe pour affiner la fonte, c'est, comme l'a indiqué M. H. Howe, parce que les machines soufflantes produisent trois fois plus de vent dans un temps donné, pour une même quantité de fonte à affiner, et que, par suite, l'affinage est trois fois plus rapide.

§ 2. — *Faible teneur en silicium des fontes américaines.*

La quantité de calorique dispersé par un corps solide, dans l'unité de temps pour une température donnée, est proportionnelle à la surface rayonnante de ce corps, de sorte que, pour une même température et une même surface de rayonnement extérieur, la perte de calorique est proportionnelle au temps. Si donc, en matière de combustion intermoléculaire, où le silicium est le principal combustible, on oxyde ou brûle celui-ci en trois fois moins de temps, il en faudra une quantité près de deux fois plus petite, pour communiquer à la fonte la température de 1.500° et 2.000° et pour combattre la constante due au refroidissement extérieur de la cornue Bessemer.

Ceci explique comment les Américains peuvent affiner des fontes renfermant moins de 1 p. °/₀ de silicium, même 0,75 seulement.

§ 3. — *Capacité des cornues Bessemer.*

Il faut remarquer que la capacité des cornues américaines varie entre 8 et 12 tonnes de contenance utile. C'est ici le cas de dire aussi que la surface extérieure d'une cornue est proportionnelle au carré de ses dimensions, tandis que sa capacité utile est proportionnelle

au cube des mêmes dimensions ; ainsi, si l'on compare un convertisseur de 3 tonnes à un autre de 9 tonnes, on a les rapports :

$\overline{3}^2 : \overline{9}^2 :: 1 : 9$ pour les surfaces rayonnantes,

et

$\overline{3}^3 : \overline{9}^3 :: 1 : 27$ pour les capacités ou pour les quantités de chaleur dégagées dans un même temps, si l'on admet que la durée de l'affinage est la même dans les deux cas.

Le rapport entre les pertes par le refroidissement de la cornue et la chaleur développée dans le même temps, est :

$$9 : 27 :: 1 : 3$$

ce qui prouve aussi qu'avec de grands convertisseurs il faut moins de silicium dans les fontes qu'avec les petits, puisque dans le cas que nous donnons ici, l'utilisation est trois fois plus grande.

§ 4. — *Avantage des grandes capacités de cornues et de la grande rapidité de l'affinage en matière de déphosphoration.*

Si, grâce à une grande vitesse d'affinage et à un gros poids de fonte traité, on peut réduire de moitié la quantité de silicium renfermé dans une fonte à déphosphorer, on obtiendra un métal d'autant plus pur (très bon acier ou fer fondu) que la quantité de silicium sera petite ; d'un autre côté, les frais d'affinage seront considérablement réduits, puisque l'on aura moins de chaux à employer pour neutraliser la silice provenant de la combustion du silicium, en même temps que le garnissage basique sera beaucoup moins attaqué par la scorie et durera plus longtemps en diminuant d'autant les frais d'affinage.

§ 5. — *Emploi du manganèse comme désoxydant pour le Bessemer comme pour le four Martin.*

Quand l'allure d'une cornue Bessemer ou d'un four Martin est très chaude et que l'usine est bien montée d'appareils pour chauffer d'un bloc la poche au chaudron de coulée, on met le ferro-manganèse dans le fond de cette poche de coulée à température très rouge (900° environ), et on coule le contenu de la cornue après l'avoir bien écumée, de façon à n'introduire que du métal sans scorie; au four à sole (dit Martin), on laisse couler l'acier ou le fer fondu jusqu'à l'arrivée de la scorie et, à ce moment, on éloigne la poche pour qu'elle ne puisse recevoir celle-ci. Alors, la désoxydation du métal et un peu de sulfuration se font très bien, car tout le manganèse du ferro est utilement employé; de sorte que l'on ne laisse dans le métal coulé en lingotière que juste ce que l'on veut de manganèse, une fois que l'on est bien fixé par quelques essais et analyses sur une fonte et un ferro déterminés.

Tandis que si l'on fait l'addition de ferro-manganèse dans la cornue en donnant un coup de soufflage après, on ne peut être aussi sûr du résultat final, car le vent consomme inutilement du manganèse, et la scorie, qui n'a pas été bien chassée par un écumage complet, réagit sur le métal; il y a là une cause d'irrégularités que l'on n'a pas à craindre avec l'addition dans la poche de coulée, possible avec une allure suffisamment chaude.

De même au four Martin, si on fait l'addition du ferro-manganèse dans le four même, il est bien difficile, et on pourrait même dire impossible, de la faire convenablement et uniformément agir sur tout le poids de métal en fusion. Les gaz (flammes) qui traversent le four et la scorie non enlevée par l'écumage imparfait réagissent sur le manganèse et le consomment en pure perte, en donnant un métal irrégulier.

Donc, comme on le voit, il y a toujours avantage à avoir une allure très chaude au four Martin, comme à la cornue Bessemer, afin de pouvoir faire les additions de réactifs, manganèse et autres, dans la poche de coulée.

Pour arriver à ce résultat avec la cornue Bessemer, il n'y a qu'à procéder comme en Amérique :

1° Ne pas employer de convertisseur d'une capacité inférieure à 7 tonnes ;

2° Faire passer le vent d'affinage à travers l'appareil, en 8 à 10 minutes seulement.

§ 6. — *Causes qui s'opposent aux hautes températures dans les fours à sole.*

Mais avec le four à sole fixe ou mobile, *la haute température* ne peut être obtenue que par la combustion du gaz, et plusieurs causes sont des obstacles à son obtention :

1° Les gazogènes qui fournissent les gaz aux fours les alimentent souvent d'une façon irrégulière, d'un gaz plus ou moins pauvre, ne valant pas mieux que le gaz des hauts-fourneaux ;

2° Quand les gazogènes ne sont pas soufflés à pression constante et invariable, ils sont presque toujours en aspiration, et l'air, rentrant par diffusion, les appauvrit considérablement, chose qui échappe aux praticiens qui n'ont généralement pas le moyen de se rendre compte de la mauvaise allure de leurs fours. En effet, quand les gazogènes sont en aspiration, l'air, en s'y introduisant par diffusion, brûle en partie les gaz formés et fait de la vapeur d'eau et beaucoup d'acide carbonique ; cependant, à l'analyse, on en trouve peu, ou moins que dans une bonne allure, mais toujours avec de faibles différences, ainsi que l'exemple suivant le fait voir :

Analyses de M. L'Hôte du gaz de 5 gazogènes alimentant un four Batho.

HOUILLE EMPLOYÉE Qualité 1/2 grasse à 30 p. °/₀ de matières volatiles 1er choix.	GAZ Les 5 gazogènes étant en pression de 1 à 1m/m 1/2 d'eau (1)			GAZ Les 5 gazogènes étant en aspiration de 1m/m d'eau (2).		
	volumes.		calories.	volumes.		calories.
H	5,83	30,56	151,6	6,40	28,32	166,4
CO.....	21,46		651,3	21,92		665,3
C^2H^4 ...	3,27		278,0	..,..		
C^4H^4....	..,..			..,..		
O.....	0,52	69,44		0,87	71,68	
CO^2.....	2,35			3,58		
Az.....	66,57			67,23		
TOTAL	100,00		.....	.....	100,00	
Puissance calorifique du mètre cube de gaz ramené à 0° et à 760; en calories			1.080,9	.....		831,7

Comme il est facile de le voir, l'acide carbonique n'a augmenté que de 3,58 — 2,35 = 1,23 p. °/₀ et l'oxygène libre que de 0,87 — 0,52 = 0, 35 p. °/₀, ce qui semble bien peu de chose, mais le gaz a perdu une grande quantité de sa puissance calorifique, soit :

$$1.080^{cal.},9 - 831^{cal.},7 = 249^{cal.},2$$

ou 23 p. °/₀, ce qu'une analyse superficielle n'aurait pas laissé soupçonner.

---

(1) Gaz pris sur les gazogènes, à la sortie du collecteur, mis en pression en étranglant le gaz à la vanne du four.

(2) Gaz pris avant la vanne du four, donc contre le four, à 50 mètres des gazogènes en marche normale, avec une aspiration de 1m/m d'eau qui est constante en moyenne.

Les cinq gazogènes qui ont donné ces gaz sont du type dit Siemens, le plus répandu, toujours en faible dépression sur le four de 1 $^{m}/^{m}$, près de la vanne de celui-ci.

Les profils et dispositions spéciales dans la construction des gazogènes ont une très grande importance en ce qui concerne la qualité du gaz donné par ces appareils ; ainsi, si nous prenons l'exemple des gazogènes à coke du gaz de Reims, de la Société des Métaux à Saint-Denis et à Sérifontaine, de la Raffinerie C. Say à Paris, etc., soit la moyenne de 40 générateurs marchant au coke de la Compagnie Parisienne, qualité n° 2, et l'exemple des gazogènes à la Houille de la Société d'Escaut et Meuse à Anzin (laminoir à tubes en fer et acier), nous voyons, d'après les très nombreuses analyses de M. L'Hôte, leur supériorité incontestable.

GAZ produits.	GAZOGÈNES LENCAUCHEZ au coke de Paris et de Reims.			GAZOGÈNES LENCAUCHEZ à la houille Usine d'Escaut et Meuse.			cal.
H	10,83	35,07	100	6,88	37,14	100	179
CO.....	21,76			25,84			783
C^2H^4	1,10			3,85			327
C^4H^4	1,38			0,57			73
O.....	0,00	64,93		0,00	62,86		
CO^2	3,57			0,45			
Az.....	61,36			62,41			
Puissance calorifique du mètre cube à 0° et à 7,60	1.210 cal.....			.....		1.362 cal.	

Les gazogènes d'Escaut et Meuse sont alimentés d'un mélange ainsi composé :

1/4 grésillon, 1/4 demi-grasse et 1/2 maigre à 11 p. °/₀

de matières volatiles ; ces deux dernières en poussiers de 4 $^{m}/^{m}$.

Ce résumé des analyses de M. L'Hôte fait voir qu'à Anzin, avec des houilles à 18 fr. la tonne rendue sur les gazogènes, les fours ne recevaient que du gaz à 831 calories le mètre cube, ramené à 0° et à 760, et qu'avec un mélange de menus divers, les gazogènes *d'un autre type* à la Société d'Escaut et Meuse, soufflés sous pression de 3 $^{m}/^{m}$ d'eau, donnaient en décembre 1888 du gaz à 1.362 calories, quoique cependant le mélange composant les charges ne revenait également sur les gazogènes qu'à 10 fr. 50 la tonne ; mais il était à 20 p. °/₀ de cendre, tandis que le combustible de choix, à 18 fr., n'en renfermait que 6 à 7 p. °/₀ au plus.

Il est facile de comprendre que du gaz plus riche de 1.362 cal. — 831 cal. = 531 cal. par mètre cube, soit plus riche de 531 calories sur 831 calories, ou encore de 63 p. °/₀, puisse donner dans les fours Martin des températures beaucoup plus considérables que celles que peuvent atteindre les Siemens ordinaires les plus répandus ; on voit donc combien la construction des gazogènes d'une aciérie peut influencer ultérieurement la marche des fours comme la qualité de leurs produits.

§ 7. — *Apparences trompeuses de la bonne qualité du gaz.*

Il faut, par tous les moyens possibles, s'opposer à la mise en aspiration des gazogènes par le tirage des fours, afin d'éviter l'introduction de l'air par diffusion dans lesdits gazogènes et afin d'éviter les réactions ci-dessous indiquées qui appauvrissent le gaz et, pour ainsi dire, d'une façon dissimulée, vu qu'entre le bon et le mauvais gaz, la quantité de CO^2 et d'Az. ne diffère que de 7 à 8 p. °/₀ au plus et CO^2 seul, que l'on observe

le plus généralement pour déterminer la qualité du gaz, ne varie que de 1 à 2 p. °/₀ seulement.

Les réactions qui trompent l'observateur sont celles-ci :

$$2CO^2 + C^2H^4 = 4CO + 4H$$

où, pour 5 volumes de gaz combustibles nouveaux, on a introduit 8 volumes d'azote

et $$4CO^2 + C^4H^4 = 8CO + 4H$$

où, pour 7 nouveaux volumes, on a introduit 16 volumes d'azote.

On voit donc que l'on pourrait, si l'allure des gazogènes était assez chaude, avoir du gaz sans CO^2, qui cependant serait très pauvre, C^2H^4 et C^4H^4 ayant complètement disparu de sa composition, comme le fait voir la seconde analyse du premier tableau ci-dessus.

§ 8. — *De la qualité réfractaire des briques composant la voûte des fours à sole.*

L'addition du ferro-manganèse peut encore être impossible dans la poche de coulée, si la voûte du four Martin n'est pas faite de briques de silice assez pure pour résister à la température de fusion du fer doux ; or, les très bonnes briques de Dinas sont à 98 p. °/₀ de silice ; il semblerait qu'à 97 p. °/₀ elles devraient être encore acceptables, et c'est une erreur, car elles coulent si l'on veut surchauffer un peu l'acier pour faire l'addition dans la poche de coulée.

§ 9. — *De l'influence du profil des fours sur les températures obtenues.*

Le profil du four peut être mauvais ; en effet, si la flamme ne bat pas bien la sole en chauffant trop la voûte qui coule et pas assez la charge qui met une

lenteur désespérante à fondre, on n'arrive pas au but désiré ; de même, si la capacité libre au-dessus de la charge n'est pas assez volumineuse, les flammes filent trop vite et, malgré la combustion au blanc éblouissant, la température reste insuffisante par défaut de combustion complète dans le four même.

§ 10. — *De la forme des brûleurs et de leur action sur la combustion.*

Si la disposition des arrivées de gaz chaud et d'air chaud (dites brûleurs) n'est pas telle que le mélange intime du gaz et de l'air puisse se faire dans le minimum de temps, soit dans la moitié de la longueur ou tout au plus dans les trois quarts de la longueur du laboratoire du four, la combustion est incomplète dans celui-ci et va se terminer dans les récupérateurs accumulateurs. Il en résulte que la température est insuffisante dans le four pour permettre la coulée en poche.

§ 11. — *De la construction des accumulateurs récupérateurs.*

Enfin, si la surface récupérante des accumulateurs est insuffisante, comme on le constate généralement, ou si encore ces accumulateurs sont peu haut et très longs avec des entrées d'air et de gaz comme avec des sorties de fumée donnant lieu à des courants ascendants et descendants filant le long des voûtes des chambres d'accumulation en traversant peu et mal la masse récupérante, les fumées s'échappent au rouge à la cheminée et l'air et le gaz sont imparfaitement chauffés ; de là encore une insuffisance de température dans le four.

§ 12. — *Résumé relatif à la marche des fours à sole.*

Une seule de ces causes est souvent un obstacle à

l'obtention de la température requise pour la coulée en poche avec addition de ferro-manganèse, d'aluminium et autres matières ; de là les soufflures en lingotières ou dans les moules pour l'acier moulé fondu.

Mais quand quelques-unes des causes ci-dessus spécifiées se trouvent réunies dans une construction, on marche mal ou pas du tout.

L'étude de toutes ces conditions de mauvaise marche explique les appréciations variables, contradictoires et souvent fantaisistes de beaucoup de personnes, appréciations aboutissant, par exemple, à cette conclusion : « La coulée d'un four Martin dans la poche Bessemer « sera toujours une mauvaise chose. »

Auteur du premier chariot de coulée employé dès l'origine du travail au four Martin chez M. Félix Verdié (brevet du 2 février 1865), je crois qu'il m'est permis de dire aujourd'hui que cet appareil a fait son temps et ne répond plus aux nécessités de la métallurgie moderne.

§ 13. — *Action de la silice due à la combustion du silicium sur les parois des cornues Bessemer et des fours à soles fixes ou tournantes. Procédé Lévêque.*

1° Dans la méthode acide, les parois étant en silice, le garnissage n'est pas attaqué par celle qui vient de la combustion du silicium ; mais au four à sole, l'affinage dit par réaction, soit par addition de minerai pour brûler le carbone de la fonte par l'oxygène dudit minerai, est presque impossible, vu que l'oxyde de fer (du minerai) se combine avec la silice du garnissage pour former des silicates qui donnent de grandes quantités de laitiers s'opposant à l'affinage en faisant bain isolant ;

2° Dans la méthode basique, la silice venant de la combustion du silicium se combine avec le garnissage

pour former des silicates de chaux, de magnésie et de fer, en détruisant rapidement ce garnissage ;

3° Avec les fours à sole fixe ou tournante, pour la méthode basique, il faut donc choisir des fontes renfermant aussi peu que possible de silicium, ou chasser préalablement celui-ci ;

4° Par le mazéage, on peut réduire la teneur en silicium de 2,5, 2 et 1,5 p. °/₀ à 0,5 et même à 0,3 p. °/₀, ce qui, pour la méthode basique, est de la plus haute importance.

Dans ces derniers temps, M. Lévêque, directeur des Hauts-Fourneaux du Pouzin, a imaginé un nouveau système de mazéage qui fonctionne actuellement avec le plus grand succès : ce système consiste en un bac circulaire et annulaire portant un très grand nombre de petites tuyères de 6 à 7 $^{m}/^{m}$ de diamètre, recevant le vent de la soufflerie des hauts-fourneaux, sous une pression de $0^{m},250$ de mercure. Voici comme M. Lévêque opère :

Le bac annulaire reposant sur deux tourillons est maintenu horizontalement et en contre-bas du trou de coulée ; on débouche celui-ci, on donne le vent, et le bac se remplit de fonte que le vent traverse pendant 5, 6 ou 7 minutes en brûlant le silicium. Quand l'opérateur voit qu'il commence à se dégager du bain métallique une quantité appréciable d'oxyde de carbone, il peut considérer l'opération de mazéage comme terminée ; alors, il incline doucement le bac annulaire-convertisseur du côté opposé au haut-fourneau et le fine métal en fonte désiliciée s'écoule dans les rigoles de coulée pour former des saumons de fine métal à 0,3 et 0,5 p. °/₀ de silicium au plus, en partant d'une fonte sortant du haut-fourneau à 2 p. °/₀ et plus de silicium.

On voit donc ici tout le parti que l'on peut tirer du

convertisseur Lévêque en matière de déphosphoration sur sole.

§ 14. — *Voûte basique pour four à sole.*

Comme on le sait, à la haute température réclamée pour l'affinage en fer doux fondu, souvent les voûtes de briques de Dinas de qualité supérieure coulent ; il faudrait donc faire les voûtes des fours Martin et autres en une matière plus réfractaire encore que la silice. La magnésie est toute indiquée pour cet usage, mais, malheureusement, les briques en magnésie, par suite de leur très faible conductibilité, se dilatent mal et se fendent en laissant tomber des voûtes de gros blocs, au point qu'en quelques jours une voûte en magnésie serait ruinée par cassures.

Pour obvier à cet inconvénient, j'ai fait faire des briques en magnésie additionnée de 5, de 10 et de 15 p. °/₀ de fer chromé en poudre. Les échantillons de briques à 15 p. °/₀ me semblent se dilater assez bien pour qu'il me soit permis de les recommander ; en tous cas, des briques à 20 p. °/₀ de fer chromé devraient être d'une solidité à toute épreuve, aussi bien pour voûtes que pour parois, le fer chromé leur donnant une conductibilité suffisante pour s'opposer à leur dislocation, sous l'action des changements plus ou moins brusques de température, dus aux ouvertures de portes, etc.

Or, comme le fer chromé est très lourd et relativement cher, on voit qu'en n'entrant que pour 20 p. °/₀ (1/5) dans la composition des briques magnésiennes, il n'en augmente pas beaucoup le prix.

On remarquera qu'à très haute température le fer chromé se ramollit et devient presque plastique, quoique restant toujours infusible. Cet état voisin de l'état pâteux retient bien la magnésie et s'oppose à ce qu'elle ne puisse plus décrépiter ou se disloquer en gros blocs.

D'où il résulte qu'avec des briques en magnésie chromée on peut construire des fours d'affinage à fer fondu, capables de résister aux plus hautes températures connues, si leurs gazogènes et leurs récupérateurs avec des brûleurs convenables peuvent donner ces températures, et c'est ici que la production du gaz riche de gazogènes (à 1.350 calories au mètre cube ramené à 0° et à 760) prend une importance capitale.

§ 15. — *Affinage basique par réaction.*

Jusqu'ici cet affinage n'est possible qu'au four à sole fixe (dit Martin) et au four à sole tournante, mais il faut remarquer qu'au four à sole fixe il faut un brassage continuel pour mettre en contact l'oxygène du minerai avec le carbone de la fonte ; donc, je crois ne devoir traiter cette question qu'en supposant la marche avec une sole tournante, ainsi que je l'ai proposée en 1873 ou 1874 et mis en pratique à Styring Wendel en 1880, car je doute que, pour l'affinage de la fonte par le minerai, la sole fixe puisse valoir la sole mobile et tournante.

La plupart des fours à sole tournante, Mondsloy, Pernot, etc., ou rotatif comme le Danks, n'ont pas donné de meilleurs résultats que les fours à sole fixe ni plus de travail, soit une meilleure et une plus grande production dans un même temps ; de sorte qu'après avoir fait grand bruit, de 1873 à 1876, les fours à sole tournante furent petit à petit mis de côté, pour la bonne raison qu'ils coûtaient plus en frais d'établissement et d'entretien que les fours à sole fixe, sans supériorité de production et de qualité.

Vouloir faire faire au four à sole tournante la même chose qu'au four Martin-Siemens a été une grande erreur.

Si les usines de la Compagnie des forges de Denain

et Anzin n'étaient pas arrivées à un grand succès avec leurs fours à sole tournante, au point d'avoir la première marque en acier doux et en fer fondu soudable, je n'oserais plus parler de ces appareils. Aujourd'hui, ils sont appelés à rendre plus de services qu'ils n'en ont jamais rendu ; en effet, l'acier doux soudable et le fer fondu dit homogène remplacent de plus en plus le fer misé, qui tend à disparaître, et comme le Bessemer, du moins dans une certaine limite, ne permet pas encore d'obtenir régulièrement toutes les qualités demandées au fer fondu soudable, on multiplie les fours Martin basiques, sans avoir souvent de phosphore à chasser, mais bien pour arriver à l'extrême limite de décarburation, sans une trop grande oxydation du fer qui ultérieurement sera désoxydé dans la poche de coulée par le ferro-manganèse. Cette fabrication de fer fondu de qualité supérieure a conduit à une consommation exagérée de ferrailles de toute nature, au point qu'aujourd'hui beaucoup d'usines manquant de chutes, de riblons et de ferrailles, sont dans la nécessité de puddler leurs fontes pour les charger ensuite au four Martin sous forme de balles et de plats (dits ébauchés de puddlage), car le four Martin n'étant qu'un four à fondre, ne pourrait affiner qu'avec une extrême lenteur ; donc, c'est en marchant avec 60, 75 et 85 p. °/₀ de riblons, chutes et ferrailles diverses plus ou moins oxydées, que l'on affine 40 à 15 p. °/₀ de fonte qui sert surtout à donner à l'origine une certaine fluidité à la charge, en abaissant son point de fusion moyen. La température maxima que le four peut donner serait, en effet, insuffisante pour produire la fusion du fer doux puddlé.

Donc, le four à sole fixe ne peut produire l'acier pour rail, pour forge et pour tôle à aussi bon marché que le Bessemer ; aussi certaines grandes aciéries

n'ont-elles de fours Martin que pour refondre leurs chutes et leur propre riblon en n'en limitant la production qu'à la refonte de leurs déchets exclusivement.

Mais tous les jours les demandes des consommateurs de fer doux fondu augmentent ; les riblons deviennent de plus en plus rares et de plus en plus coûteux, au point d'être aussi chers que les lingots d'acier.

La fabrication du fer fondu affiné par réaction s'impose là où le Bessemer ne peut répondre aux exigences de certains consommateurs.

Pour affiner la fonte de Moselle par l'oxygène du minerai, il faut, par tonne de fonte brute, 100 kilog. d'oxygène, soit 333 kilog. de peroxyde de fer, renfermant 233 kilog. de fer métallique ; à ces 333 kilog., il faut ajouter le poids de l'eau et de la gangue du minerai, de sorte que si celui-ci ne rend que 50 p. °/₀ au haut-fourneau, comme le minerai de Bilbao, il faut en employer 666 kilog. par tonne de fonte, en admettant que l'oxydation doive être obtenue exclusivement par l'oxygène du minerai.

Enfin, on remarquera que si l'on prend des minerais ne rendant que 33 p. °/₀, il faudra en employer 999 kilog. Si la gangue de ce minerai est calcaire, on diminuera d'autant les additions de chaux, mais si la gangue est siliceuse on devra écarter ce minerai, s'il renferme plus de 5 à 7 p. °/₀ de silice ; enfin, si l'on veut employer les minerais en grains (1) de la Haute-Marne, de la Franche-Comté ou du Berry, il faudra les laver mieux qu'au Patouillet, avec un crible du Harz, par exemple, de manière à les amener à la teneur de 50 p. °/₀ de fer, au lieu de celle de 40 p. °/₀ obtenue à la sortie du Patouillet.

---

(1) Minerais pisolithiques dits en grains.

Si les minerais de Bilbao ou de pays bien épurés par un lavage complet reviennent à 25 francs la tonne au four d'affinage, la quantité de fer contenu s'y trouvera pour 50 francs à la tonne de métal utile. Or, rarement les riblons sont au-dessous de ce prix et le prix de 25 francs la tonne de minerai est relativement élevé ; mais ici il faut remarquer que le minerai, en se réduisant, a décarburé et affiné la fonte qui, prise au prix de 40 francs la tonne, est incontestablement plus avantageuse pour l'affineur que du fer puddlé, des chutes ou de la ferraille à 70 francs la tonne. De plus, on remarquera qu'une tonne de fonte qui au Bessemer aurait donné 870 kilog. de lingots donne par la méthode par réaction 1t,100 kilog. de lingots ; il y a donc là à tenir compte d'une plus-value de rendement de 20 p. °/₀ en bonne moyenne pratique pouvant payer largement les frais supplémentaires d'affinage par réaction.

§ 16. — *Tuyère rasante sans forte pression de vent (2 à 3 kilos).*

Enfin, je ferai observer qu'en 1880, quand j'ai opéré à Styring-Wendel, nous avons fait usage de la tuyère rasante, soufflant sur sole tournante, à la façon de la tuyère de coupellation pour le plomb ; contrairement à ce que pensaient certains métallurgistes des plus autorisés, le jet de vent de cette tuyère, loin de refroidir le four, en relevait considérablement la température, *sans donner lieu à la moindre projection*. En se servant de la tuyère rasante, on a pu diminuer dans une forte proportion la quantité de minerai, qui, d'environ 666 kilog. (Somorostro Companil), a pu être réduite à 380, 250 et 200 kilog. seulement ; naturellement, le rendement de 1t,100 kilog. s'est trouvé réduit en proportion.

Pour éviter l'attaque des parois basiques par la scorie, nous avons admis un mélange de 200 kilog. de chaux pour 700 kilog. de minerai, soit 900 kilog. de mélange par tonne de fonte, mais la pratique nous a fait voir que le 1/3 de cette charge, avec les dernières qualités de fonte blanche d'affinage de Moselle, était plus que suffisant en marchant avec la tuyère rasante.

Le réchauffage du four sous l'action de la tuyère rasante peut s'expliquer ainsi : son jet de vent étant de $8^m/^m$, $9^m/^m$ et $10^m/^m$ au plus de diamètre, sous la pression de 2 kilog. effectifs, elle ne lance dans le four que 90^{ms} d'air par heure, pris à 0° et à 760, soit environ $\frac{1}{40}$ au 2,5 p. °/₀ du poids de gaz brûlés (fumée) qui traverse ce four dans le même temps, ceci pour un four d'une capacité utile de 12 tonnes. Ce puissant jet de vent est obligé de parcourir une distance de 1^m,500 environ pour atteindre le bain métallique sur lequel il fait chalumeau, mais dans ce parcours de 1^m,500 il brasse très énergiquement la flamme qui chemine dans le four en produisant la combustion spontanée à très haute température ; d'un autre côté, il s'échappe du bain métallique, par tonne de fonte affinée, 100 kilog. de gaz oxyde carbone pur CO à la température de 1.600° au moins (soit 80^{ms} de gaz CO ramené à 0° et à 760); sous l'action de brassage de la tuyère rasante, ce gaz brûle en développant une température excessive au contact du métal, tandis que sans la tuyère, comme dans les autres fours, le gaz CO échappe en grande partie à la combustion, étant séparé de la zône d'air chaud par une couche de gaz brûlés ne renfermant pas d'oxygène libre ; la combustion s'achève alors dans les chambres des accumulateurs, mais en pure perte, ceux-ci recevant déjà plus de calorique qu'ils ne peuvent en accumuler et restituer.

C'est ici le cas de faire remarquer qu'il y a une très grande différence entre le four d'affinage et celui de simple fusion, car l'un dégage des gaz combustibles purs et très riches et l'autre peu de chose ou rien. Certains fours, comme ceux des verreries, dégagent de l'acide sulfurique, de l'acide sulfureux et de l'acide carbonique, qui s'opposent très énergiquement à la combustion. On conçoit donc que si le chauffage par *radiation* est excellent pour un four de verrerie (à bassin ou sole), ce chauffage soit très mauvais pour un four d'affinage pour acier fondu ou fer fondu et inversement ; la flamme plongeante battant la sole est mauvaise en verrerie et est excellente sur un bain de fonte dégageant des quantités notables de gaz CO, pur et à très haute température, qu'un excès de gaz oxygène O aussi à très haute température brûle en formant CO^2 et en augmentant encore la température jusqu'à la limite de dissociation.

§ 17. — *Briquettes de chaux et de minerai de fer.*

Plus haut, j'ai fait voir que dans la méthode par réaction les additions de chaux et de minerai pouvaient être réunies. Au point de vue de la durée du garnissage, il doit être préférable de réunir la chaux et le minerai par un bon mélange préalable. En effet, la chaux étant infusible et poreuse, boit, suivant l'expression des ouvriers, l'oxyde de fer en fusion et s'oppose à l'attaque des parois et garnissages du four. On est allé plus loin dans cette voie, en faisant des briquettes de minerai et de chaux fortement comprimées, en proportions requises pour un affinage donné ; les briquettes sont plus maniables qu'un mélange en poudre et donnent moins de poussières entraînées par le tirage dans les chambres des accumulateurs, ce qui présente un

grand intérêt dans ce cas particulier avec le chauffage par le gaz et la récupération.

§ 18. — *Lenteur de la fusion dans les fours à sole.*

Lorsqu'on vient de faire la coulée d'un four à sole fixe ou tournante, on refait la sole, s'il y a lieu, par une remise sommaire en état, puis on charge 8, 10 à 12 et 14 tonnes de fonte (bien entendu, ici il s'agit de la fusion pour la méthode basique par réaction) ; cette charge réclame souvent une heure pour se faire, après quoi le four est tout noir, tant la température est tombée ; il faut le réchauffer et porter sa charge à température de fusion, puis fondre celle-ci. L'absorption de calorique pour une charge de 12 tonnes est égale à celle que réclamerait la vaporisation de 3.000 kilog. d'eau environ et ceci à haute température et non pas à 100° ; il s'ensuit que l'utilisation du calorique, malgré la récupération, est relativement faible ; c'est ce qui fait que souvent 3, 4, 6 et même 7 heures se passent avant d'avoir obtenu la fusion totale et complète de la charge. Naturellement, plus le four chauffe bien, moins de temps il faut pour obtenir cette fusion ; mais avec le temps réclamé par le chargement, il faut compter sur quatre heures au moins avant de pouvoir faire les additions de briquettes ou du mélange de chaux et de minerai.

Avec le four à sole tournante et avec la tuyère rasante, sur huit affinages (opérations), nous n'avons jamais mis, après la fusion complète de la charge de 12 tonnes, moins de 25 minutes ni plus de 35 pour arriver à faire la coulée, la moyenne a été de 30 minutes environ ; donc, pour un effet utile obtenu en une demi-heure, on a perdu 4 à 8 heures pour avoir la fonte liquide prête à être affinée.

§ 19. — *Marche à la coulée du haut-fourneau ou d'un cubilot.*

Si on remplit brusquement la cuvette de la sole tournante par la coulée du haut-fourneau, celle-ci recevra donc de la fonte très chaude (surchauffée notablement au-dessus de son point de fusion) dans une enceinte elle-même plus chaude encore ; on aura ainsi gagné 4 heures au moins, ce qui permettra de diminuer le prix de revient, puisqu'une installation donnée pourra produire 4 fois plus de travail utile ; l'amortissement du capital et son intérêt seront réduits en conséquence, ainsi que la consommation de combustible et la main-d'œuvre. Dans ces conditions, la sole tournante peut lutter très avantageusement contre le Bessemer basique.

Si on ne peut marcher à la coulée du haut-fourneau, on la remplacera par celle du cubilot ; en effet, sauf une dépense de 100 kilog. de coke par tonne de fonte, le résultat sera le même, on gagnera *du temps*, soit des frais généraux et des consommations de combustible ; quant à celles-ci, elles seront encore notables, puisque 100 kilog. de coke remplaceront 300 kilog. de houille consommée inutilement par le four à sole pour obtenir la fusion de sa charge.

Si l'affinage ne dure en moyenne qu'une demi-heure, en prenant 2 heures pour une opération, on aura donc 1 h. 1/2 pour la coulée, la réparation de la sole et la charge, ce qui est beaucoup. Dans ces conditions, faire 10 charges par 24 heures, soit 5 par poste, serait donc très ordinaire et alors un four de 12 tonnes de coulée produirait par jour (24 heures).

$$12^{T} \times 10 = 120 \text{ tonnes.}$$

§ 20. — *Les fours à sole tournante devraient être à cuvette mobile portée sur chariot à voie bifurquée.*

Pour la méthode par réaction, il faut s'attendre à une plus grande usure du garnissage que pour une simple fusion, la quantité de laitiers ou scorie devant être beaucoup plus considérable, puisque la quantité de chaux d'addition sera plus forte et qu'à celle-ci il faudra encore ajouter le minerai. Dans les localités où la dolomie n'est pas plus chère que la chaux, on pourrait user de ce garnissage sans penser à l'économiser, celui-ci faisant œuvre d'addition de chaux en partie ; si une opération use 100 kilogrammes de garnissage, c'est 100 kilogrammes de chaux que l'on n'aura pas à charger. Pour une plus grande résistance à l'attaque des scories, on pourrait employer la brique en magnésie de Styrie, d'Eubée, de magnésie chromée ou de fer chromé ; mais quoi qu'on fasse, il faut se préoccuper de l'entretien de la cuvette de la sole tournante.

Cette cuvette est montée sur un chariot qui roule sur une voie de chemin de fer de 2 à $2^{m},5$ de largeur.

Voici ce que je crois qu'on devrait faire :

1° La voie serait à bifurcation pour deux voies avec aiguilles de changement de voie contre le four sous la sole tournante ;

2° Au moyen d'un treuil, on pourrait faire manœuvrer le chariot porte-sole ; en retirer un de dessous le four, puis en faire passer un autre remis à neuf de garnissage ;

3° La sole serait mobile sur le chariot, de sorte qu'avec une grue on enlèverait une cuvette-sole dont le garnissage serait usé pour la remplacer par une cuvette remise à neuf de garnissage ;

4° On aurait un atelier de réparation de soles où on

préparerait celles-ci, ainsi que l'on fait pour les convertisseurs Bessemer dans les aciéries à grande production, dites à l'américaine.

Comme on le voit, dès qu'un garnissage serait hors de service, en deux minutes on retirerait le chariot qui le porte pour le remplacer par un chariot portant une cuvette munie d'une sole neuve, séchée et déjà chaude.

Pour réaliser ces conditions de marche, il faudrait une voie bifurquée, un treuil, deux chariots, 5 à 6 cuvettes à sole et une grue pour enlever les cuvettes dont les soles seraient hors service, pour les remplacer sur les chariots par des soles réparées à garnissage remis à neuf. De sorte que comme le Bessemer, le four à sole tournante marcherait sans interruption.

Tel était de 1874 à 1880 mon projet pour la mise en pratique de la déphosphoration (voir les discussions au Congrès de l'Industrie minérale à Alais, en 1882, et mon mémoire pages 1129 à 1140 du *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 2e série, tome XI, 1882). Aujourd'hui, plus que jamais, je suis persuadé que l'affinage pour fer fondu sur sole doit ainsi se faire, pour répondre aux besoins que le Bessemer ne peut satisfaire et qui deviennent tous les jours de plus en plus nombreux. La marche des fours à sole tournante de la Compagnie des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain et Anzin prouve bien nettement que la réalisation et la mise en pratique de l'affinage par réduction avec le four à sole tournante ne présentent aucune difficulté insurmontable.

§ 21. — *Soufre et dissociation de l'acide sulfureux.*

Lorsque le fer fondu et l'acier doux renferment plus de 0,3 p. °/₀ de soufre, ils ne sont plus soudables et perdent beaucoup de leurs qualités, de sorte que ce n'est pas tout que de faire de la bonne déphosphoration

et de la bonne décarburation, pour obtenir un métal extra-doux, car il faut encore chasser le soufre ou s'opposer à son introduction dans le métal.

Malheureusement le soufre se chasse sous forme de sulfures de calcium et de manganèse, tandis que le phosphore s'élimine sous forme de phosphate basique de chaux ; pour l'un il faut réduire et pour l'autre il faut oxyder. Ces deux opérations sont inconciliables dans le même appareil et dans le même temps.

Il faut donc choisir des fontes très peu siliceuses obtenues avec un laitier extra-basique, ne laissant que de faibles traces de soufre dans le métal, ou encore, si la sole tournante marche à la coulée du cubilot, y fondre la fonte avec une forte addition de castine pour obtenir un laitier extra-basique comme au haut-fourneau. Depuis fort longtemps les fondeurs anglais, pour améliorer la qualité de leur fonte, font au cubilot des additions de calcaire, de chaux et de spath fluor, qui donnent de bons résultats ; dans ces derniers temps, M. Rollet a pratiqué avec succès la marche extra-basique au cubilot (à paroi basique), en vue de la désulfuration, et a obtenu de bons résultats en faisant tomber la teneur en soufre d'une fonte de 1 à 2 p. °/₀ à 0,05 p. °/₀ et même en dessous.

On voit donc qu'avec la sole tournante marchant à la coulée du cubilot, on a au moins le moyen de quadrupler sa production en désulfurant préalablement le métal par la simple addition de castine, ce que font généralement les fondeurs. Ici le revêtement du cubilot peut se faire avantageusement en fer chromé comme à Terrenoire en 1879 (1), en briques de magnésie ou encore en briques alumineuses qui, si elles n'ont pas

(1) Lettre de M. J. Euverte à M. le Président de la Société des Ingénieurs civils de France, à la date du 15 mai 1889.

la résistance du fer chromé, ont le grand avantage d'être très bon marché.

§ 21 *bis*. — *Soufre des combustibles chargés dans les gazogènes.*

Mais ce n'est pas tout de se débarrasser du soufre de la fonte, il faut encore par la suite, pendant l'affinage, s'opposer à ce que le fer fondu ou l'acier se sulfure avec le soufre contenu dans le combustible chargé dans les gazogènes du four à sole ; pour cette raison certaines usines ne prennent que des houilles de choix en gros blocs et bien purgées de pyrites, d'autres emploient des briquettes de houilles lavées de certaines provenances, afin de s'assurer un combustible au minimum de pyrite, ou de soufre ; mais ces combustibles de choix coûtent souvent 2 à 3 fois plus cher que les charbons tout-venant et menus que l'on peut avoir dans la même contrée.

Depuis quelque temps, pour divers usages, j'ai eu à laver le gaz des gazogènes et je puis dire que l'épuration de ce gaz est peu coûteuse et n'exige qu'une perte de charge de 2 à 3 $^{m}/^{m}$ d'eau. Par le lavage à froid, ramenant le gaz, suivant les saisons, à une température de 10 à 20 degrés, les acides sulfureux et sulfhydrique sont dissous par l'eau et entraînés par elle ; avec ces acides une notable partie d'acide carbonique est aussi enlevée, de sorte que si le gaz perd quelques traces de vapeurs d'hydrocarbures il se trouve encore un peu enrichi, étant débarrassé en grande partie de SO^2, de HS et de CO^2, qui tous trois gênent la combustion et la rendent d'autant plus mauvaise que leur quantité est plus considérable.

Je puis dire qu'en résumé le gaz de gazogène est notablement amélioré par le lavage (comme puissance

caloritique, et qu'il est presque totalement débarrassé de ses éléments sulfureux, ce qui est de la plus haute importance pour la production des fers fins fondus et aciers doux.

Voici ce qui se passe dans les gazogènes recevant des combustibles plus ou moins pyriteuux :

1° Le soufre de la pyrite ($Fe\,S^2$) se partage en deux parties ; un équivalent de soufre dans la zone réductrice des gaz combustibles, entre 750 et 1000 degrés, en présence de la vapeur d'eau encore libre, la décompose. Il se forme en quantités variables de l'acide sulfureux et de l'acide sulfhydrique, plus une notable quantité de soufre qui distille et vient se déposer sur les tampons, regards, etc., et autres parties froides des appareils. Ce n'est pas tout, aux températures de 750 à 1000 degrés, l'acide sulfureux en présence des hydrocarbures et du carbone en excès met son soufre en liberté.

$$SO^2 + 2C = 2CO + S$$

mais ce soufre entraîné par les gaz réducteurs rencontrant du fer pyrophorique réduit à l'état de folle poussière repasse à l'état de sulfure simple FeS qui se dépose dans les conduites de gaz avec les cendres du combustible. A l'usine de la Société des Métaux, à Saint-Denis (Seine), M. L'Hôte a trouvé 35 p. °/₀ de monosulfure de fer dans les poussières déposées dans les conduites de gaz à 25, 50 et 100 mètres de la batterie des 20 gazogènes qui alimentent cette usine. Le fer entraîné par les gaz est celui de la pyrite grillée sur les barreaux des grilles des gazogènes, qui en partie est enlevé avec la poussière réfractaire des cendres par le tirage ; ce fer quitte bien les grilles à l'état de peroxyde de fer, mais en entrant dans la zone réductrice il est réduit en folle poussière de fer métallique, dit pyro-

phorique, qui plus loin se sufure, quand la température s'abaisse et quand les gaz hydrogène et oxyde de carbone cessent d'être réducteurs par suite d'un refroidissement au-dessous de 750 degrés.

2° Le soufre de la pyrite ramené à l'état de monosulfure, en arrivant sur les grilles des gazogènes, passe à l'état d'acide sulfureux, mais ce gaz acide en entrant dans la zone réductrice avec un excès de vapeur d'eau donne du soufre et de l'acide sulfhydrique, comme il est dit plus haut ; une certaine quantité de SO^2 échappe à la réduction.

Il peut se former aussi des cyanoferrures et du sulfure de carbone, mais en si petite quantité que jusqu'ici ils ont échappé à nos observations.

En résumé, les gaz qui sortent des gazogènes renferment en quantité notable du soufre, de l'acide sulfhydrique et de l'acide sulfureux, de plus ils sont chargés de poussière de monosulfure de fer qui se produit dans les conduites de gaz au-dessous de 700 degrés ; comme il est facile de le voir, *un bon lavage méthodique débarrasse presque totalement le gaz de toutes ces impuretés*, qui après cette opération n'en renferme plus que de faibles traces.

§ 21 *ter*. — *Soufre dans les fours basiques.*

Les gaz des gazogènes arrivent donc aux fours, ainsi que nous venons de le voir, chargés de poussière de sulfure de fer, d'acide sulfureux et d'acide sulfhydrique. Ce dernier sulfure gazeux HS est très stable à haute température, à tel point que si l'on fait passer H sur une fonte sulfureuse après que le carbone a été chassé, il y a dégagement d'acide sulfhydrique au rouge (1) ;

(1) Mémoire sur le recuit dans les gaz réducteurs. Société des Ingénieurs civils, 1887.

donc ce n'est pas aux températures supérieures au rouge que HS est à craindre pour le fer et l'acier doux. Mais en arrivant dans le four, le gaz y est brûlé et HS donne de la vapeur d'eau et de l'acide sulfureux.

Dans les fours basiques, à la température de fusion de l'acier ou même du fer, l'acide sulfureux est beaucoup au-dessus de son point de dissociation qui, d'après M. Sainte-Claire Deville, serait vers 1.300° environ ; il se dédouble ainsi :

$$3SO^2 = 2SO^3 + S$$

Si l'acide sulfurique rencontre une base telle que la chaux, il produit du sulfate anhydre.

$$3SO^3 + 2CaO = 2(CaO,SO^3) + S$$

Mais S qui distille se combine avec le métal, s'il entre en contact avec lui.

Si le soufre rencontre d'abord le métal, il se forme un sulfure et l'acide libre SO^3 donne un sulfate s'il rencontre une base, soit de la chaux ou de la magnésie ; mais comme la chaux domine, c'est toujours finalement son sulfate qui se forme ; celui-ci, en présence du carbone ou des hydrocarbures, passe à l'état de sulfure de calcium.

$$CaO, SO^3 + 4C = CaS + 4CO$$

Ce sulfure ne peut passer dans la scorie comme dans le laitier d'un haut-fourneau, car il se trouve dans une atmosphère oxydante en présence de l'oxyde de fer, du fer et de la silice venant de la combustion du silicium, alors il se forme du sulfure de fer

$$FeO + CaS + SiO^2 = FeS + CaO,SiO^2$$

qui passe dans le métal et du silicate de chaux qui passe dans la scorie.

Beaucoup d'autres réactions pourraient être signa-

lées, mais toutes et successivement aboutiraient à faire passer tout le soufre dans le métal, s'il y avait contact avec lui ou avec la scorie basique ; heureusement que dans la pratique la plus grande partie des poussières et de l'acide sulfureux passent à la cheminée sans avoir pu toucher le bain métallique et sa scorie, sans quoi la teneur en soufre dépasserait toute limite ; car admettant 1 p. °/₀ de pyrite dans la houille, soit 0,53 p. °/₀ de soufre, en brûlant seulement 300 kil. de houille par tonne d'acier ou de fer fondu, on arriverait à mettre en liberté 1,5 p. °/₀ de soufre environ, soit 1ᵏ,500, ce qui, pour une tonne de métal, ferait 0,15 p. °/₀.

Si on ajoute à ceci le soufre de la fonte, celui des riblons et quelquefois celui de la chaux, qui s'y trouve sous forme de plâtre, on arrive bien vite à une teneur totale de 0,30 p. °/₀ de soufre dans l'acier ou le fer fondu, qui deviennent de très mauvaise qualité pour beaucoup d'emplois.

§ 22. — *Emploi des gaz secondaires pour le chauffage des fours à sole.*

En 1874, j'ai fait à la Société des Ingénieurs civils de France une communication sur l'emploi des gaz des hauts-fourneaux et des gaz des fours à coke ; à cette époque, l'étude des gaz de gazogènes était encore à faire et on était disposé à les croire plus riches qu'ils ne sont en réalité généralement.

Si on se reporte à ce que nous avons vu au § 6, on remarquera qu'un four d'affinage pour acier doux fonctionne assez bien, quoique ne recevant que du gaz à 831 cal. 7 (1) au mètre cube, ramené à 0° et à 760 ;

(1) Dans une première communication faite dans la séance du 4 septembre sur les gaz des gazogènes, on trouvera tous les renseignements nécessaires pour apprécier la valeur calorifique desdits gaz.

mais si on se rappelle que le gaz des hauts-fourneaux arrive à 900 calories, on voit que le même four marcherait tout aussi bien au gaz des hauts-fourneaux qu'au gaz des gazogènes Siemens ; donc il serait naturel de considérer les hauts-fourneaux comme de véritables gazogènes, car pour transformer une houille en gaz combustible, il faut subir une perte, et ne serait-il pas plus rationnel d'employer un gaz sous-produit, tout formé au chauffage des fours ? En effet, la puissance calorifique étant la même, en chauffant les chaudières à vapeur directement à la houille, on économiserait la perte due à la transformation, qui est pour les gazogènes Siemens (type courant) de 25 à 35 p. °/₀, tout en faisant l'économie des frais d'installation de ces gazogènes devenus inutiles.

De même si les aciéries ou forges à fer fondu possédaient les fours nécessaires à la production du coke que consomment leurs hauts-fourneaux, elles jouiraient de l'avantage d'acheter des fines et menus divers lavés (1) dont les marchés d'approvisionnements sont plus certains et plus faciles à faire que ceux de coke ; car ce dernier combustible, en temps de hausse, arrive à des prix hors de proportion avec celui des houilles dites à coke ; il y a donc de ce côté une importante économie à faire. Mais si les fours à coke des hauts-fourneaux, des aciéries et forges à fer fondu étaient à sous-produits, outre le goudron qu'ils donneraient, ainsi que l'eau ammoniacale, ils pourraient être chauffés au gaz oxyde carbone de gazogènes spéciaux, brûlant les grésillons, et laisser disponible leur gaz de distillation

(1) Les mélanges de fines maigres, sèches et dures, demi-grasses et grasses, permettent (judicieusement faits) d'arriver au maximum de rendement en coke et au minimum de prix de revient, grâce aux avantages d'achats indépendants les uns des autres.

(dit gaz d'éclairage) dont la puissance calorifique est de 5.650 calories au mètre cube ramené à 0° et à 760. Ce gaz pourrait, par la très haute température qu'il donne, rendre de grands services, toutes les fois qu'un coup de feu serait utile, pour dépasser les températures que les gaz des hauts-fourneaux et des gazogènes peuvent produire.

Le gaz des fours à coke est épuré en grande partie par le refroidissement et peut l'être complètement par le lavage avec son eau ammoniacale, ainsi que la chose se pratique dans les usines à gaz ; on peut voir à ce sujet les dispositions employées dans mon ouvrage sur la *Tourbe* (1). Quant au gaz des hauts-fourneaux, il peut être convenablement épuré par un bon lavage, ainsi que je l'ai fait voir dans mon ouvrage sur les *Combustibles et le chauffage par les gaz* (2). Les appareils de lavage que j'ai fait connaître à cette époque sont aujourd'hui employés en Ecosse et en Angleterre. On commence à en faire usage en France, en Meurthe-et-Moselle. Pour les gaz des hauts-fourneaux, le lavage doit avant tout *les débarrasser des poussières abondantes* qu'ils transportent et qui, comme on le sait, encombrent très rapidement les appareils à air chaud quand ils ne sont pas lavés.

Mais le lavage méthodique des gaz des hauts-fourneaux et des gazogènes peut encore être la source d'une économie notable, dont je vais dire deux mots.

§ 23. — *Utilisation de l'azote des combustibles sous forme de sels ammoniacaux.*

D'après les recherches d'un grand nombre de chi-

---

(1) Lacroix, éditeur, 112, boulevard de Vaugirard, à Paris. 1876.

(2) Lacroix, éditeur, 1878.

mistes et principalement de M. Mand, président de la Société de chimie d'Angleterre, voici comment l'azote se répartit dans la distillation sèche de la houille :

1° Azote renfermé par les eaux de distillation sous forme de bicarbonate et de sulfhydrate d'ammoniaque	0,251
2° Azote du cyanogène	0,027
3° Azote perdu et passant dans le gaz	0,610
4° Azote restant dans le coke	0,842
Azote total	1.730

M. Mand dit qu'en transformant en gaz une tonne de houille, elle lui donne dans les condenseurs-laveurs, à la suite de ses gazogènes, une eau ammonicale rendant 32 k. de sulfate d'ammoniaque renfermant 6^{k},627 grammes d'azote utilisé, soit environ 1/3 de l'azote contenu dans le combustible (17^{k},300). Aujourd'hui, en Ecosse, un grand nombre de fours à coke et de hauts-fourneaux produisent du sulfate d'ammoniaque en réalisant des bénéfices appréciables, car avec de l'acide sulfurique à 3 francs les 100 k., on fait du sulfate d'ammoniaque qui ne revient qu'à 17 centimes le kilog et qui se vend encore aujourd'hui net à l'usine 32 cent. Le bénéfice est donc de

$$32^{c} - 17^{c} = 0 \text{ fr. } 15 \text{ cent.}$$

En produisant 32 k. de sel par tonne de houille, on peut donc réaliser un bénéfice net par tonne de

$$32^{k} \times 0^{f},15 = 4 \text{ fr. } 80 \text{ cent.}$$

qui, en Angleterre, représente au moins une valeur de 50 p. °/₀ du prix du combustible.

En France, avec de l'acide à 5 fr., le prix de revient du sulfate peut arriver à 21 et 22 fr. les 100 k., en laissant un bénéfice de

$$32^k \times 0^f,10 = 3 \text{ fr. } 20 \text{ cent.}$$

par tonne de houille, soit une valeur de 25 p. °/₀ rapportée au prix des fines pour coke. Donc il est possible de faire une économie de 25 p. °/₀ sur les frais de chauffage, en épurant les gaz qui doivent chauffer les fours à acier et à fer fondu.

Enfin, on remarquera qu'une usine française consommant 100 tonnes de houille par jour pourrait faire une économie de

$$100^t \times 3^f,20 = 320 \text{ fr.}$$

et par année de

$$320^f \times 300 \text{ jours} = 96.000 \text{ fr.}$$

chose à prendre en haute considération.

Il résulte de ceci qu'en entrant dans la voie que j'ai indiquée en 1876 (1), on peut épurer les gaz qui doivent chauffer un four d'affinage pour acier ou fer fondu, en réalisant des bénéfices sur le lavage et l'épuration desdits gaz des gazogènes, des hauts-fourneaux et des fours à coke.

§ 24. — *Action du gaz hydrogène sur la fonte, l'acier et le fer.*

En 1885, j'ai fait une série de recherches sur l'action du gaz hydrogène sur la fonte, l'acier et le fer (2).

Dans mon Mémoire, j'ai traité, avec tous les développements que comporte cette intéressante question, de l'action de l'hydrogène sur le soufre que renferme le métal et j'ai fait voir que ce gaz, aux températures de

---

(1) *La Tourbe*. Lacroix, éditeur. La planche X donne les appareils à laver et à épurer les gaz et la planche XVI les appareils à fabriquer les sels ammoniacaux, principalement le sulfate.

(2) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, page 194 et page 764, année 1887, 1er volume.

800° à 1.200° environ, enlève continuellement du soufre à l'état d'acide sulfhydrique. J'ai opéré sur des charges de 100 à 120 kilog. de fonte, d'acier et de fer ; la quantité de soufre enlevée au métal est peu considérable, mais l'action se prolonge sans interruption pendant 8 à 10 jours et je suis même disposé à croire que l'entraînement du soufre sous forme de HS aurait pu durer plus longtemps, vu que, le métal étant solide, l'action de l'hydrogène ne s'exerce qu'à la surface et ensuite par filtration très lente à travers le métal, grâce à sa porosité.

Le gaz hydrogène pur obtenu par voie humide coûte 2 francs le mètre cube ; donc il ne peut être utilisé à ce prix par l'industrie.

J'ai essayé ensuite le gaz à l'eau renfermant 43 p. °/₀ de H, et 46 p. °/₀ de CO et les résultats ont été les mêmes.

Enfin j'ai enployé le gaz riche ou H de gazogène allant à l'air et à la vapeur surchauffé à 400° environ, soit entre 375° au moins et 425° au plus. Ce gazogène marchant très régulièrement, industriellement et pratiquement, m'a fait voir que l'action de son gaz, quoique ne renfermant que 18 p. °/₀ de H et 27 p. °/₀ de CO, avait la même action sur le soufre du métal que les deux gaz précédents.

Il est donc permis de conclure de ces essais nombreux ayant duré trois mois (par opérations de 8 à 10 jours chacune) que le gaz des gazogènes peut pratiquement remplacer l'hydrogène pur, c'est-à-dire que des gaz à 1 centime, à 2 1/2 centimes et à 3 centimes le mètre cube (1) peuvent remplacer du gaz à 2 francs le

---

(1) Au besoin on pourrait obtenir du gaz à 86 p. °/₀ de H par la décomposition en cornue de la vapeur d'eau surchauffée sur le charbon de bois ou le coke porté au rouge cerise, avec réac-

mètre cube. Ceci étant bien démontré, j'ai pu être autorisé à dire que le recuit pour fonte, acier et fer, peut se faire dans une atmosphère de gaz de gazogène. Mais comme ce recuit ne semblait pas meilleur ni meilleur marché que celui fait jusqu'ici à l'oxyde de fer, il n'y avait point lieu d'abandonner l'ancien procédé pour le nouveau ; cependant j'ai reconnu que le recuit au gaz de gazogène riche en H et renfermant un volume de CO^2 pour 3 à 4 volume de H et de CO, décarbure la fonte aussi bien que l'oxyde de fer et la désulfure à la surface, ce qui a permis de souder des tôles d'acier Bessemer qui, avant le recuit, ne soudaient pas, chose intéressante pour la fabrication des tubes en acier soudé au laminoir.

D'un autre côté, les pièces en acier et en fonte malléable obtenues par un recuit dans le gaz sont beaucoup plus propres à la surface et beaucoup moins déformées que celles recuites à l'oxyde de fer, qui souvent est scorifié au contact des pièces à recuire.

Enfin j'ai reconnu que la régularité de température pendant les 6 à 8 jours que dure un recuit a une très grande importance et qu'il est préférable de chauffer au gaz avec chaleur récupérée les fours à recuire qu'à la flamme d'un foyer à grille ordinaire donnant continuellement des variations de température avec coups de feu déformant les pièces ; mais ces grands avantages pratiques ne sont pas pris en grande considération par les intéressés (du moins jusqu'ici), qui disent n'opérer que sur de trop petites quantités pour pouvoir faire les frais d'une installation de fours chauffés par le gaz des gazogènes.

---

tion de la vapeur surchauffée, dans une seconde cornue chauffée à blanc, sur le gaz obtenu dans la première, afin de transformer CO en CO^2 en mettant en liberté un nouveau volume de H. Ce gaz lavé et épuré à la chaux revient à 0 fr. 10 le mètre cube.

Ceci étant dit, on est conduit à remarquer que cependant le gaz H des gazogènes à gaz riche ou des gazogènes spéciaux pour gaz à l'eau est suffisant pour enlever à haute température le soufre du fer et de l'acier solide. C'est ce qui fait que je me suis demandé si les mêmes gaz, en traversant du fer et de l'acier fondu, ne pourraient pas, entre 1.800 et 2.000°, enlever le soufre du métal aussi bien qu'aux températures de 800 à 1.200°. S'il en était ainsi, il suffirait de faire du gaz à l'eau, et au Bessemer, après l'affinage terminé, on n'aurait plus qu'à faire traverser le métal fondu surchauffé à haute température, par un courant de ces gaz, pour que l'hydrogène enlève le soufre sous forme de HS, comme il a été dit plus haut, ce qui serait de la plus haute importance pour obtenir des aciers Bessemer soudables, chose que l'on n'a pas encore pu avoir d'une façon régulière, certaine et industrielle.

Donc si l'hydrogène à 2.000° chasse aussi bien le soufre du métal qu'à 1.000°, il n'y aurait pas à hésiter à disposer les Bessemer pour être traversés à la fin de leurs opérations pendant 1 à 2 minutes, 3 au plus, par un courant de gaz sec, dit à l'eau, renfermant depuis 18 jusqu'à 43 p. °/₀ d'hydrogène au besoin ; car on obtiendrait la désulfuration *finale* du métal à prix très modéré, ce qui permettrait, par la méthode basique, de faire des aciers et fers fondus aussi soudables que le fer affiné au bas foyer ou au four à puddler. Quant aux frais d'installation, ils varieraient entre 50 et 100.000 francs au plus, suivant l'importance des Aciéries.

J'ai cru devoir terminer mon Mémoire par ces renseignements, qui peuvent être précieux pour la métallurgie dans un temps plus ou moins rapproché, si toutefois l'hydrogène à 2.000° peut se combiner aussi bien avec le soufre qu'à 1.000°, chose que je ne saurais assu-

rer, ne connaissant aucun essai de ce genre à très haute température.

M. Gautier. — La séance est déjà avancée et je ne voudrais pas la prolonger ; cependant il y a quelques affirmations de M. Lencauchez auxquelles je voudrais opposer d'autres observations. M. Lencauchez a parlé de construire des voûtes en magnésie par exemple, mais les matériaux réfractaires se divisent en deux : ceux qui prennent un retrait par la chaleur et ceux au contraire qui prennent une dilatation ; or, en général, les matériaux basiques sont des matériaux qui prennent beaucoup de retrait ; par conséquent, il est difficile, à moins de surélever une voûte, d'obtenir quelque chose de solide avec ces matériaux.

M. Lencauchez a émis le désir que les métallurgistes éprouvent aussi, que la fonte à l'état de fusion au sortir du haut-fourneau fût versée directement sur la sole des fours Siemens-Martin, pour la fabrication de l'acier.

Bien que cela paraisse assez simple, c'est une question sur laquelle la lumière n'est pas encore faite pour tous les métallurgistes. M. Lencauchez a parlé également de dissolution de l'acide sulfureux dans un tube d'argent; il y a là un abus du mot dissolution : une réaction chimique n'est pas une dissolution. M. Lencauchez a attiré l'attention du Congrès sur la question intéressante de la récupération de l'ammoniaque dans les produits gazeux des hauts-fourneaux et a dit que les hauts-fourneaux avec lesquels cette opération avait été réalisée marchaient à l'anthracite; c'est une autre erreur : ces hauts-fourneaux sont alimentés avec une houille très gazeuse, contenant jusqu'à 22 p. °/₀ de matières volatiles; quant à l'anthracite, il donne trop peu d'ammoniaque pour que les installations coûteuses

que nécessiterait la récupération de ce corps fussent avantageuses.

M. Lencauchez. — L'ingénieur qui s'est le plus occupé de cette question affirme que la plus grande partie de l'azote reste dans le coke et il prétend que l'ammoniaque se volatilise sans se décomposer ; c'est-à-dire que l'ammoniaque résiste aux plus hautes températures. Il est certain toutefois qu'il y a lieu de tenir compte des frais d'installation.

A ce moment, les Membres de la Section des mines, dont la séance vient de prendre fin, pénètrent dans la salle et y prennent place.

M. Castel, président du Congrès. — Messieurs, je ne vous dirai que quelques mots, nous avons terminé nos travaux ; j'espère que nous nous en retournerons tous satisfaits de ce que nous avons vu et entendu, satisfaits d'être restés ensemble pendant ces quelques jours et d'avoir renouvelé des liens d'amitié.

Je dois vous dire qu'en outre des rapports qui ont été publiés au commencement du Congrès, chacun de vous recevra les procès-verbaux détaillés de nos séances. Nous ne pouvons pas trop vous dire quand, parce qu'il faut un certain temps pour cela ; mais, vous pouvez vous rassurer, vous les recevrez tous.

Maintenant, Messieurs, au moment de nous quitter, je dois vous exprimer tout l'orgueil que j'ai eu d'être nommé président de ce Congrès, toute la satisfaction que j'ai éprouvée dans les relations que j'ai eues avec vous tous. Nous avons eu hier une soirée charmante pour tous ceux qui étaient là, et je crois que nous en garderons le souvenir. Messieurs, je ne vous dis pas adieu, j'espère que nous aurons l'occasion de nous

réunir dans un Congrès qui ne sera pas très éloigné ; je ne vous dis donc pas adieu, mais au revoir. (*Applaudissements prolongés.*)

M. Witmeur, ingénieur principal au Corps des mines de Belgique. — Messieurs, avant que nos travaux soient définitivement clos, je crois remplir un devoir et me faire votre interprète à tous en exprimant au Gouvernement français toute notre gratitude pour l'initiative qu'il a prise d'instituer ce Congrès, et au Comité organisateur, tous nos remerciements pour les soins intelligents et dévoués qui ont permis de mener à bien cette difficile entreprise.

Des débats si intéressants auxquels nous avons assisté se dégagent des faits généraux qu'il n'est pas inopportun de mettre en lumière.

D'abord ces débats ont montré la pénétration de plus en plus intime de la méthode scientifique dans les questions industrielles : les conditions diverses des antiques métiers du mineur et du métallurgiste sont reprises, spécifiées, scrutées dans tous leurs éléments, et les formules implicites de l'ancienne routine se transforment en des problèmes scientifiques explicitement et nettement posés.

A cet égard, le Congrès marque de la manière la plus expressive une importante étape du développement du savoir humain.

En ce qui concerne plus spécialement les travaux de la section des Mines, le Congrès accuse également avec netteté une tendance de notre époque qu'il n'est pas moins légitime de signaler : si le travail industriel en général peut être envisagé comme une lutte contre la nature, l'industrie minière en particulier est comme une bataille permanente, sur le champ de laquelle, mal-

heureusement, on relève trop souvent des morts et des blessés.

Réduire le nombre de victimes, en prévenant dans la mesure humainement possible les causes multiples du danger, tel est l'objectif principal qui a dominé les études de tant de chefs autorisés de la grande armée des travailleurs ici réunis.

A cet égard, on peut affirmer que le Congrès marque une phase notoire et consolante du développement de la solidarité humaine.

Progrès scientifiques, élévation du sentiment moral, tels sont les traits caractéristiques des recherches de la technologie actuelle; et nous félicitons la grande nation française d'avoir, par les travaux du Congrès des Mines et de la Métallurgie, créé l'occasion solennelle de les dégager et de les affirmer. (*Vifs applaudissements.*)

La séance est levée à cinq heures moins dix minutes.

Banquet sur la tour Eiffel.

Le banquet du Congrès international des Mines et de la Métallurgie a eu lieu le 10 septembre, au restaurant Brébant, sur la première plateforme de la tour de 300 mètres.

La plupart des membres qui ont suivi les travaux du Congrès sont présents et, malgré la diversité des nations et des langues, la plus grande cordialité règne parmi les convives.

Au dessert, M. l'Inspecteur général des mines, *Castel*, président du Congrès, prononce l'allocution suivante :

« Messieurs et chers Collègues,

« Nous touchons à la fin de nos travaux, et nous nous sommes réunis aujourd'hui pour accomplir ce que l'on a l'habitude de faire quand on a bien travaillé, c'est-à-dire pour réparer nos forces en vue de travaux nouveaux. Nous avons encore, et surtout, un autre but : celui de resserrer, dans une réunion joyeuse et toute consacrée au plaisir et aux gais propos, les liens d'amitié et de confraternité que les huit jours passés ensemble ont créés entre nous.

« Je ne voudrais pas faire croire, en parlant de travaux, que nous nous sommes bien fatigués. Grâce à Dieu, j'espère qu'aucun de nous n'aura à se plaindre à ce point de vue, et n'emportera de ce Congrès un souvenir pénible comme celui d'un labeur excessif. Rendons-nous pourtant cette justice que nous avons bien travaillé ; nous l'avons fait utilement et avec plaisir ; nous remporterons, chacun de notre côté, quelques connaissances de plus, avec le désir de chercher encore,

d'accroître notre avoir scientifique, de faire faire de nouveaux progrès à toutes les branches de notre industrie, et de rendre ainsi service à l'humanité.

« Certainement nous avons travaillé, et, en ce qui me concerne, je dois dire que je suis sorti enchanté de chacune de nos conférences, ravi d'y avoir appris quelque chose de nouveau, ravi surtout de voir combien les jeunes générations s'efforcent de dépasser leurs devancières, la mienne entr'autres, par leurs conceptions nouvelles, et, je vous l'assure, ravi de voir qu'elles y parviennent. Qu'elles continuent à marcher dans cette voie ; qu'aux progrès réalisés dans ces vingt dernières années succèdent de nouveaux progrès ; le progrès ne doit jamais s'arrêter.

« Messieurs, nous arrivons bientôt à la fin d'un siècle prodigieux, d'un siècle qui méritera entre tous, aux yeux de la postérité, le surnom de Grand, le siècle de la vapeur, des chemins de fer, de la photographie, du télégraphe, du téléphone, de l'électricité. Ce siècle a vu les industries du fer et de l'acier se modifier de fond en comble ; il a vu naître de nouveaux métaux, inconnus à nos grands-pères ; il a assisté aux prodiges enfantés par la chimie.

« Le spectacle que nous offre l'Exposition, où toutes les inventions de notre grand siècle figurent sous leur forme la plus récente, constituerait le plus fantastique des rêves pour un savant du siècle dernier, s'il lui était donné de reprendre corps et de parcourir le Champ de Mars.

« Eh bien ! malgré toutes ces merveilles, nous avons le sentiment que nous ne sommes pas encore au bout et qu'il reste beaucoup à faire, peut-être beaucoup plus que nous ne le soupçonnons. Il nous paraît difficile qu'un autre siècle puisse produire autant de grandes inventions que le XIXe, mais nous n'en savons rien ; en

tout cas, nous sentons que ce que nous possédons aujourd'hui est susceptible de progrès ; il nous reste à le perfectionner et à en tirer tout le parti possible.

« C'est à quoi nous devons tous tendre ; perfectionner doit être le but de nos efforts constants.

« Que nous réserve la future Exposition, celle de 1900 ? Je suis convaincu que, là encore, nous verrons de quoi réjouir nos yeux et nous rendre fiers, et que nous aurons encore à applaudir aux efforts des ingénieurs et des savants.

« N'attendons pourtant pas jusque-là, Messieurs, pour nous réunir de nouveau ; l'attente serait d'ailleurs un peu longue pour plusieurs d'entre nous. Que cette réunion ait lieu le plus tôt possible ; je suis convaincu que c'est là notre désir à tous et que nous voudrons profiter de la première occasion favorable qui se présentera pour réaliser ce vœu. Je vous propose de boire à notre prochaine réunion. Qu'elle ait lieu bientôt ! » *(Vifs applaudissements.)*

M. Arnould, directeur général des mines à Bruxelles, vice-président du Congrès, répond au toast du président :

« Messieurs,

« La réussite de notre Congrès des Mines et de la Métallurgie est due, en grande partie, à la bonne organisation qui a présidé à cette œuvre. Elle nous a facilité d'utiles visites à l'Exposition et nous a permis de recueillir de précieuses explications sur des appareils et sur des installations très remarquables concernant les mines et la métallurgie.

« Mû par un sentiment de vive gratitude, que tous, Messieurs, vous partagez, je porte un toast au Comité

d'organisation et, en particulier, à son digne président, M. Castel. *(Longues acclamations.)*

« Encore un mot, Messieurs. Mon cœur déborde de reconnaissance et d'admiration : de reconnaissance pour l'accueil sympathique que, tous, nous avons reçu à Paris ; d'admiration à la vue de tant de merveilles accumulées dans ce splendide Palais d'Exposition qui est la glorification de la grande nation qui l'a érigé.

« Je bois, Messieurs, à nos honorables collègues des mines de France et à tous les ingénieurs français, nos frères et amis. » *(Vifs applaudissements.)*

M. B. Eckley-Coxe, ancien président de la Société des Ingénieurs américains, vice-président du Congrès, prend ensuite la parole :

« Monsieur le Président,

« Je demande la parole pour porter un *toast* aux grandes écoles de la France, qui, presque sans s'en apercevoir, ont jeté de la lumière partout, même dans les pays les plus lointains, et qui reçoivent à bras ouverts des élèves de tous les pays. Il n'y a que dix jours que je suis rentré en France, il y a vingt-cinq ans que je l'ai quittée. La langue s'oublie, Messieurs, quand on n'a guère l'occasion de la parler dans un quart de siècle ; mais ce que je n'oublie pas, ce que je ne puis jamais oublier, c'est la bienveillance avec laquelle, moi étranger, presque enfant, sans amis en France, j'ai été reçu non seulement à l'Ecole des Mines, mais aussi partout, dans les mines et dans les usines que j'ai visitées. Ce sont les leçons que j'ai reçues de ces professeurs hors ligne qui, alors comme aujourd'hui, faisaient la gloire de vos écoles. Il suffit d'en nommer quelques-uns : Elie de Beaumont, Grunèr, Callon, de Senarmont, Rivot, etc.

« C'est pour cette raison, Messieurs, que je demande

la permission de porter le toast « aux grandes écoles françaises », qui sont si riches en forces intellectuelles qu'elles peuvent en donner à tout le monde sans s'appauvrir. » *(Applaudissements.)*

M. Haton de la Goupillière, inspecteur général des mines, directeur de l'Ecole nationale supérieure des mines et vice-président du Congrès, répond en ces termes :

« Messieurs,

« Je ne laisserai pas échapper l'occasion précieuse qui me met en présence des ingénieurs de l'industrie minérale du monde entier sans leur adresser un cordial remerciement pour le bienveillant accueil que rencontrent auprès d'eux nos élèves dans leurs voyages d'instruction.

« En cela, vous vous êtes souvenus que nous avons été nous-mêmes élèves, et que de tels voyages présentent bien des difficultés. Ils sont difficiles au point de vue matériel ; car les mines, trop souvent, se trouvent placées dans les régions les moins confortables de la surface terrestre. Ils sont difficiles sous le rapport technique, et il est parfois bien malaisé à ces jeunes gens de démêler clairement une partie de ce qu'ils rencontrent dans vos travaux, dans vos établissements, sans d'obligeantes explications. Il est d'ailleurs des choses qui n'apparaissent pas d'elles-mêmes aux regards, comme les données économiques, l'intérieur des machines, etc.

« Vous nous aidez ainsi puissamment, Messieurs, à combler le fossé qui, malgré tout le talent et le soin des professeurs, séparerait sans cela l'école du chantier. C'est vous qui complétez notre œuvre. Nous dégrossissons, vous parachevez.

« Je bois donc, Messieurs, à la bienveillance passée et future des ingénieurs pour nos élèves en mission ! » *(Applaudissements prolongés.)*

M. Henri Witmeur, ingénieur principal au Corps des Mines belge, professeur à l'Université de Bruxelles et secrétaire du Congrès, prend ensuite la parole :

« Messieurs,

« Je vous propose un toast que vous accueillerez, j'en suis sûr, avec une vive sympathie, car il est l'expression d'un sentiment qui se trouve dans nos cœurs à tous : à la France ! (*Applaudissements.*)

« En nous conviant à ce Congrès, où nous avons suivi avec tant d'intérêt et de profit la discussion des principales questions technologiques actuellement à l'ordre du jour, le Gouvernement français a pris une initiative qu'il convient de mettre en relief.

« La France est, du reste, coutumière du fait, et ce n'est pas d'hier que s'est affirmée son action initiatrice pour le progrès.

« Il y a environ un siècle et demi, quelques Français, dont les images vénérées se trouvent dans cette enceinte même, en fondant l'*Encyclopédie* ou *Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*, constituaient la première œuvre de vulgarisation des sciences et de leurs applications à l'industrie.

« On est généralement d'accord pour attribuer à cette généreuse entreprise, menée à bien par de vigoureux génies au milieu des difficultés et des persécutions, une part importante dans la rénovation politique et sociale qui s'accomplit à la fin du siècle dernier.

« Il n'est pas moins juste, je crois, de reconnaître qu'elle contribua d'une manière efficace au développement scientifique et technologique, car ce ne peut être

par une fortuite coïncidence des événements de l'histoire que les dernières années du XVIIIe siècle, qui virent poindre la radieuse aurore de la liberté, ouvrirent l'ère des grandes découvertes dans les sciences naturelles et commencèrent à développer et à réunir le puissant faisceau de connaissances théoriques et pratiques qui forment une part si importante du patrimoine actuel de l'humanité ! (*Longs applaudissements.*)

« En 1855, en 1867, en 1878, la France convie le monde entier à ses expositions universelles : reprenant, en quelque sorte, l'œuvre des Encyclopédistes, elle réalise, d'une manière à la fois tangible et grandiose, la pensée de ses illustres enfants.

« Et aujourd'hui, pour célébrer le Centenaire de la date glorieuse entre toutes, dans l'Histoire de l'Humanité, de la date émancipatrice, dans cette belle ville de Paris, si pleine déjà de grandeurs et de charmes, la France accumule les splendeurs de la civilisation.

« Tout ce qu'il y a de beau, tout ce qu'il y a de noble, tout ce qu'il y a de puissant dans la pensée humaine, a trouvé dans cette merveilleuse Exposition, qui se déroule devant nous, les expressions les plus vives et les plus éloquentes. Et l'édifice même sur lequel nous sommes en ce moment, cette magique tour, cette belle solution d'un hardi problème de mécanique, lançant au-dessus de Paris ses quatre grandes courbes harmonieuses, qui semblent converger dans les airs vers une commune asymptote, qu'est-ce autre chose que la réalisation la plus expressive de la formule du divin Platon : le Beau, c'est la splendeur du Vrai ! *(Longs applaudissements.)*

« Messieurs, en contemplant toutes ces merveilles, nous ne pouvons nous défendre d'un vif sentiment de gratitude pour la grande nation qui nous a procuré cette

pure jouissance, d'une admiration telle qu'aucune admiration antérieure ne peut lui être comparée.

« C'est dans ces sentiments, Messieurs, que je vous convie à lever avec moi vos verres, en poussant un triple hourrah en l'honneur de la France : *Hourrah ! Hourrah ! Hourrah !* » (*Tous les convives debout, répètent énergiquement l'acclamation : Hourrah ! Hourrah ! Hourrah !*)

Nous voyons ensuite les représentants de la plupart des nations étrangères prendre la parole et venir successivement remercier la France de son cordial accueil.

M. Roman Oriol, professeur à l'Ecole des Mines de Madrid et vice-président du Congrès, prononce le toast suivant :

« Messieurs,

« C'est au nom de l'Espagne, ce pays si largement doté par la nature de richesses minérales de toutes sortes, que j'ose vous adresser ici une cordiale salutation.

« L'Espagne a été, Messieurs, de tous les temps, le siège de grandes exploitations minières ; mais, croyez-le bien, les Carthaginois, les Romains et les Arabes nous ont laissé bien des richesses inexplorées et les découvertes de nouveaux gîtes minéraux nous permettent de conserver toujours une place honorable parmi les nations les plus productrices.

« Ce n'est pas seulement par le mercure, le plomb et les minerais de fer que l'Espagne est connue ; ce sont tous les minerais recherchés par l'industrie, y compris la houille, qui constituent sa richesse minérale.

« Si nos houillères, si nos usines ne sont pas encore aussi développées que celles d'autres puissants pays, c'est dans l'état de notre industrie, dont l'essor a été à

plusieurs reprises entravé par des événements politique, qu'il en faut rechercher la cause.

« Je dois vous l'avouer, franchement, Messieurs, après avoir visité minutieusement votre grande et merveilleuse Exposition de 1889, tous les ingénieurs espagnols sont désolés de voir que, pour des raisons qui n'ont rien de sérieux pour les personnes qui visent la science et le progrès humain, notre pays n'ait pu faire honneur et à votre aimable invitation et à son propre intérêt.

« Mais si nos mines et nos usines sont si incomplètement représentées dans le Champ de Mars, croyez-le sincèrement, Messieurs, tous nos ingénieurs sont ici, modestement représentés par moi, pour vous dire :

« Si votre intérêt, vos affaires ou vos loisirs vous conduisent à la patrie d'Elhuyar, de Casiano del Prado, de Monasteria et de tant d'autres ingénieurs distingués, soyez sûrs que vous y serez les bienvenus et que vous trouverez toujours dans chaque ingénieur espagnol un véritable et dévoué camarade.

« Je bois, Messieurs, à la grandeur de l'industrie française, si dignement représentée dans les constructions métalliques qui nous entourent et qui constituent à elles seules un titre de gloire pour la science et les ingénieurs de cette admirable pays. » (*Applaudissements.*)

M. Gilberto Crespo y Martinez, ingénieur des mines, délégué par le gouvernement mexicain à l'Exposition universelle et au Congrès international des mines et de la métallurgie, succède à M. Oriol :

« Messieurs,

« Je n'ai pas l'habitude de parler votre belle langue française,

« Veuillez donc bien excuser les fautes que je vais commettre.

« D'après ce que nous venons d'entendre, les citoyens des Etats-Unis de l'Amérique du Nord, les Belges et les sujets des autres nations européennes qui ont eu le bonheur d'assister aux cours des écoles françaises sont et se disent bien orgueilleux de les avoir suivis.

« Ils viennent en témoigner avec leurs touchantes paroles et la noblesse de leurs cœurs et leur profonde reconnaissance envers ce beau pays, si bien aimé partout, la France.

« Mais les écoles françaises, Messieurs, ne sont pas seulement un guide enviable, de la jeunesse de la France et de celle des autres nations qui peut venir à Paris.

« Elles sont aussi le phare de splendides lueurs qui, dans nos terres lointaines, nous apprend les sciences et nous montre toujours et le progrès souhaitable et la liberté chérie.

« Nous autres, les ingénieurs des mines mexicains, quand nous étudions la chimie, nous apprenons à respecter les noms si connus de partout le monde, de Berthelot, de Frémy, de Friedel, de Schlœsing et de Troost.

« Et pour étudier la mécanique, on nous met entre les mains les ouvrages de Callon et de Collignon, entre autres ; et, pour la résistance des matériaux, M. Durand-Claye ; pour la métallurgie, Gruner, sans oublier M. Castel, notre digne président, et les Carnot.

« Si les charmes de l'économie politique nous attirent, MM. Léon Say, Leroy-Beaulieu, Courcelle-Seneuil, Molinari, Levasseur, Courtois sont, entre autres, nos excellents guides.

« Si nous étudions la géologie et la minéralogie, ce

sont les noms de Daubrée, Descloizeaux, Mallard, de Lapparent qui se gravent dans nos mémoires avec ceux de Noguès, Fuchs, Burat, etc.

« Si on s'occupe d'assainissement, ce sont les travaux de Freycinet qui nous guident, et enfin, Messieurs, comme je ne veux pas vous fatiguer à citer, pendant des heures, des noms français, glorieux dans les différentes branches de la science de l'ingénieur, permettez-moi seulement de me résumer en ma qualité de mineur.

« Quand nous étudions l'exploitation des mines, voilà un nom qui devient aimé et qui reste pour toujours gravé dans nos cœurs, comme dans les vôtres, puisqu'il a tant appris à tout le monde, celui du savant auteur de ce célèbre traité d'exploitation des mines que vous connaissez tous : Haton de la Goupillière.

« Ah ! nous devons être profondément reconnaissants à la France. Et nous le sommes vraiment et sincèrement.

« Quand nous sommes venus pour assister à cette merveilleuse et magnifique Exposition, dont l'éclat sans second et le superbe étalage ne pourront jamais, nulle part, être égalés, nous avions l'espoir de connaître personnellement les auteurs dont les ouvrages avaient guidé et guident nos études.

« Et, pour la plupart, nous avons eu cet honneur.

« Et quand on a éprouvé ces sensations et qu'on se trouve, comme nous le sommes dans ce moment, à l'intérieur de l'œuvre métallurgique la plus grandiose du XIXe siècle, la Tour Eiffel, et qu'on est émerveillé par cette Exposition sans rivale, dans laquelle on peut admirer tant de chefs-d'œuvre du génie français, et qu'on contemple au loin cet autre travail métallurgique, gigantesque et hors ligne, le Palais des machines, très naturellement, un ingénieur des mines

doit se rappeler les éloquentes paroles de M. Fallières, le très distingué Ministre de l'Instruction publique :

« A l'occasion de la nouvelle Sorbonne, il a dit, en effet : Aimer la France, n'est-ce pas, en elle et au-dessus d'elle, aimer l'humanité ?

« Et c'est vrai, Messieurs, puisque la France est bien la liberté éclairant les esprits ! C'est pour cela que, sûr d'être suivi par vous, j'ai l'honneur de porter ce toast sincère et reconnaissant : Au bonheur de la France. » (*Applaudissements prolongés.*)

M. de Sinner, ancien élève de l'Ecole des mines de Paris, prend ensuite la parole au nom de la Suisse :

« Messieurs,

« Après les voix éloquentes et autorisées que vous venez d'entendre, c'est à peine si j'ose encore prendre la parole. Et cependant, comme unique représentant d'un petit pays qui doit beaucoup à la France et qui lui est attaché par le lien d'une amitié séculaire, aujourd'hui plus vive que jamais, je me reprocherais mon silence dans une réunion où plusieurs autres nations sont venues apporter leur tribut de reconnaissance et d'admiration à cette France que nous aimons tous.

« Pour les amis si nombreux de votre beau pays, l'Exposition incomparable qui nous réunit est, en effet, plus qu'une fête des yeux, plus qu'une fête sans cesse renouvelée de l'esprit, c'est avant tout une fête du cœur ! Pour nous principalement qui avons joui du privilège de l'hospitalité française dans une de ses grandes écoles largement ouvertes à tous ceux qu'attirent votre science élevée et vos idées généreuses : quelle joie, pour nous, en parcourant ce vaste champ de richesses et de merveilles, d'y retrouver, à chaque pas, la trace de l'activité et du génie d'anciens camarades et d'amis et

le triomphe éclatant des grands et féconds principes enseignés par ces maîtres que l'Europe, que le monde vous envie ! Comment pourrions-nous oublier jamais leurs leçons magistrales et leur bonté inépuisable envers les élèves ! Elie de Beaumont qui, jusqu'à la fin de sa carrière glorieuse, aimait à nous conduire lui-même sur le terrain, pour nous apprendre à lire dans le grand livre de la nature ! Et tant d'autres savants illustres, d'ingénieurs éminents, dont la bienveillance paternelle nous a suivis dans toute notre carrière et a encouragé nos modestes travaux !

« C'est à ces hommes de haute science et de bien, à nos chers et vénérés maîtres que je porte mon toast, et à la France, en particulier à la France scientifique et industrielle, si brillamment représentée dans cette réunion ! » (*Applaudissements.*)

MM. Jordan et Rémaury répondent en quelques mots à ces toasts si flatteurs pour la France.

M. Villot, inspecteur général des mines, se lève alors et porte le toast suivant :

« Messieurs,

« Un grand nombre de noms d'ingénieurs éminents, à des titres divers, ont été prononcés ici et ont reçu de justes hommages. Ils ont fait progresser la science et ses applications, ont formé des élèves devenus à leur tour des maîtres. Leurs noms devaient être acclamés dans une pareille réunion.

« Il en est un, Messieurs, qui a quitté la carrière spéciale pour des soucis plus graves et des devoirs plus absorbants. Sa personne n'est point au milieu de nous, mais son nom est sur toutes les lèvres, et déjà vous l'avez nommé. Il préside aux destinées de ce noble et cher pays. Au milieu de quelles difficultés : tout le

monde le sait. Avec quel tact, quel infatigable dévouement, quelle dignité aimable et sans morgue : la sympathie universelle l'a proclamé. Je réponds certainement à vos vœux en demandant qu'un témoignage de respect parte pour lui de ce Congrès.

« La haute valeur d'un pareil témoignage sera en raison des éminentes personnalités françaises et étrangères qui nous entourent. Je vous propose donc de porter avec moi la santé de M. l'ingénieur Sadi Carnot, président de la République française. » (*Vives marques d'approbation. — Applaudissements prolongés.*)

Enfin, M. le Président *Castel* termine par un remerciement général à tous les orateurs :

« Messieurs,

« Je suis l'interprète de tous les ingénieurs français présents ici en vous exprimant combien nous sommes profondément touchés par les marques cordiales et chaleureuses de sympathie que vous venez de donner à la France, à notre pays que nous aimons par-dessus tout, que nous aimons dans sa grandeur, que ses malheurs nous rendent encore plus cher, s'il est possible, mais dont nous ne pouvons nous empêcher d'être fiers dans un moment comme celui-ci. La France, Messieurs, a pu commettre des fautes dans le passé, mais on n'a du moins à lui reprocher aucun sentiment d'envie vis-à-vis des autres peuples ni aucune ambition déplacée ; et toutes les nations trouvent et ne cesseront de trouver en elle une sœur toujours prête au sacrifice, un cœur toujours ouvert à l'amitié.

« Je vous propose, Messieurs, de boire à la fraternité universelle. »

On se sépare au milieu des applaudissements les plus vifs.

Banquet offert le 7 septembre 1889 par la Société de l'Industrie minérale aux ingénieurs belges.

Le 7 septembre, à 7 heures du soir, un banquet offert par la Société de l'Industrie minérale aux ingénieurs belges venus pour assister au Congrès des Mines et de la Métallurgie, a réuni chez Lemardelay, rue Richelieu, plus de 60 membres français de l'Industrie minérale et près de cent ingénieurs des Ecoles de Liège et de Mons.

La plus grande cordialité n'a cessé de régner pendant toute la durée du repas entre les convives, qui étaient heureux de se retrouver et de renouer les relations si bien commencées il y a deux ans, lors du Congrès de l'Industrie minérale en Belgique. Elle a été celle qui existe entre de vieux amis, enchantés de se revoir et de se serrer la main après une longue absence.

Au dessert, M. Castel, président de la Société de l'Industrie minérale, a pris la parole en ces termes :

« Messieurs, chers collègues et amis,

« C'est toujours avec un nouveau plaisir..., pardonnez-moi d'employer cette phrase célèbre, mais un peu banale, mais je n'en trouve pas de meilleure, et elle me vient naturellement à l'idée pour vous exprimer le bonheur que j'éprouve à me trouver aujourd'hui au milieu de vous.

« Nous n'avons pu, hélas ! vous convier à une agape qui réunisse aux dons de Cérès, de Pomone et de Bacchus, ces charmes d'une brillante nature dont vous nous avez fait jouir au Rond-Chêne, aux Thermes liégeois et dans le parc de Mariemont. Nous sommes trop loin de cette ravissante vallée de la Meuse. Ce n'est

pas cependant que les beaux sites soient inconnus autour de Paris, et nous aurions été heureux de vous recevoir à Saint-Germain, par exemple, et de vous faire contempler un point charmant de la vallée de la Seine, mais la distance était un peu trop grande. Quoi qu'il en soit, le principal a été atteint, c'est que vous êtes là, avec nous, et que nous pouvons vous serrer la main.

« Il y a quelques jours, je me trouvais à la campagne chez un vieil ami, un vieux sage, qui cultive à la fois les fleurs de son jardin et celles de la littérature. C'est un ami d'Horace, et j'ai fait connaissance, auprès de lui, d'un vers du poète latin que je vous recommande :

recepto
Dulce mihi furere est amico.

« Remarquez que le mot *furere* ne veut pas dire être furieux, mais tout simplement être fou. L'aimable épicurien aimait à recevoir ses amis ; il paraît que cela lui faisait faire des folies, et surtout en dire. C'est en quoi je ne puis le blâmer, et ce soir, je me sens tout disposé à faire comme lui, et je vous engage à en faire autant.

« Cependant, pour commencer, faisons quelque chose de très sérieux. Je vous propose, Messieurs, de boire à la santé de nos frères belges. Puissent-ils vivre longtemps, et nous aussi, pour que nous nous retrouvions souvent ensemble comme aujourd'hui ! »

Après ce toast, accueilli par de joyeux applaudissements des convives, M. de Vaux, président de l'Association de Liège, remplaçant M. Montefiore-Lévy, qui n'avait pu assister au banquet, s'est levé et a prononcé l'allocution suivante :

« Messieurs,

« L'absence de notre Président, retenu loin d'ici par une affaire importante, me vaut l'honneur inattendu et le plaisir de prendre en ce moment la parole. C'est au nom de l'Association des Ingénieurs de l'Ecole des Mines de Liège que je vous remercie cordialement, Messieurs, de la gracieuse invitation que vous nous avez adressée et de l'accueil si sympathique que vous nous faites.

« Pour les ingénieurs, vous le savez, il n'y a pas de frontières ; enfants de la même mère, la Science, ils sont tous frères ; mais c'est en frères de prédilection, la chose est claire, que vous nous traitez aujourd'hui, grâce sans doute à cette heureuse circonstance que nous parlons la même langue. La Belgique, il est vrai, n'est pas assez grande (malheureusement ou heureusement) pour que nous puissions nous en contenter ; trop souvent nous sommes forcés d'en sortir pour aller étudier chez nos grands voisins, du Nord comme du Midi, les progrès industriels qui y ont pris naissance ou qui y ont trouvé, plus rapidement que chez nous, leur application. A ce point de vue, une langue universelle ferait bien notre affaire, mais en attendant qu'on l'invente, et même après, ce sera toujours en français, veuillez le croire, que nous nous exprimerons de préférence. Si nous ne le parlons pas avec la facilité et l'élégance qui vous sont naturelles, nous en savons cependant assez, Messieurs, pour vous redire encore sans ambages et sans restrictions toute la gratitude, tous les sentiments de cordiale et fraternelle sympathie que nous éprouvons pour nos confrères de France.

« Les merveilles industrielles et de toute nature qui nous entourent forment à la fête que vous nous offrez un cadre d'un intérêt et d'une splendeur inoubliables.

Le souvenir de *votre* magnifique Exposition restera gravé, en traits ineffaçables, dans la mémoire de tous ceux auxquels il aura été donné de pouvoir la visiter. Je dis *votre* Exposition, Messieurs, car il suffit de jeter un coup d'œil sur les admirables installations de Lens, de Blanzy, de Bessèges et de Saint-Etienne ; sur celles de la Loire, sur le Pavillon du Nord, sur une foule d'autres encore trop longues à énumérer pour apprécier l'importance prépondérante de la part que vous y avez prise.

« L'Exposition de 1889 me fait penser, malgré moi, à la belle devise inscrite sur le socle de la statue du Grand Charlemagne qui décore une de nos places publiques de Liège : « *Magnus bello, major pace.* » Si vous avez été grands par la guerre, vous l'êtes bien plus encore par la paix.

« Jamais succès plus complet n'aura couronné œuvre plus grandiose et qui affirme mieux la vitalité de votre nation et la puissance du génie français !

« Je vous convie, chers compatriotes et camarades, à vider vos verres en l'honneur de nos aimables amphitryons de l'Industrie minérale. »

Inutile de dire de quels chaleureux vivats les paroles de M. de Vaux ont été suivies. Après lui, M. Haton de la Goupillière, directeur de l'Ecole des Mines de Paris, a porté le toast suivant :

« Je vous demande la permission de porter un toast qui trouvera, j'en suis sûr, de l'écho chez tous nos collègues français. Je bois aux Ecoles de Mines belges !

« Ce pays, dans lequel l'exploitation souterraine est si ancienne déjà, et environnée de difficultés spéciales et redoutables, était bien placé pour donner naissance à ces savantes pépinières, d'où sont sortis tant d'ingénieurs illustres, tant de travaux d'une théorie sûre dans

toutes les sciences qui nous intéressent, tant de brillantes créations de la pratique. Je ne veux ici nommer personne, afin d'épargner la modestie des présents, et parce que les noms des absents, comme de ceux qui ne sont plus, se trouvent sur toutes les lèvres.

« Les Ecoles des Mines françaises sont pleines de sympathie pour leurs sœurs de Belgique, ainsi du reste que tous les ingénieurs de notre pays. A cet égard, le magnifique bassin franco-belge est comme un pont jeté par le Créateur, non par-dessus, mais par-dessous la frontière, comme pour symboliser cette cordiale union.

« Aux Ecoles de Mines belges ! »

Le toast de M. Haton de la Goupillère a provoqué de nombreux bravos et a été suivi du discours prononcé par M. Briart, directeur des Mines de Mariemont et Bascoup, et président de l'Association de Mons :

« Messieurs,

« Je me lève à mon tour pour adresser à la Société de l'Industrie minérale quelques paroles au nom de la Société des Ingénieurs sortis de l'Ecole des Mines de Mons.

« Mais avant tout, je tiens à remercier mon excellent ami M. Devaux qui, parlant au nom des Elèves de l'Ecole de Liège, a rendu ma tâche très facile. Il s'est fait notre interprète à tous. Il a parfaitement fait ressortir tout ce que nos réunions du Congrès des Mines et de la Métallurgie auront de bon et de profitable pour les ingénieurs des pays qui s'y trouvent réunis, non seulement au point de vue des progrès de l'industrie elle-même, mais encore et surtout au point de vue de la sécurité des travailleurs.

« Nous avons pu voir les splendeurs de cette Exposition dont le succès a dépassé les espérances les plus

téméraires et nous avons marché d'éblouissements en éblouissements. Nous avons surtout admiré les expositions des charbonnages de votre beau pays; nous y avons vu, condensés et mis en lumière, tous les progrès réalisés en ces derniers temps dans l'exploitation des mines et nous avons apprécié à leur juste valeur les procédés nouveaux destinés à en conjurer les dangers.

« Mais il est un point que je tiens tout particulièrement à faire ressortir. Vous n'avez pas oublié la partie scientifique, et c'est avec le plus grand intérêt, je pourrais dire avec le plus grand étonnement, que j'ai pu voir les curieuses et savantes expositions paléontologiques de quelques-uns de vos bassins houillers. Il s'y trouve des choses tout à fait extraordinaires et en quelque sorte inattendues. Que dire, en effet, de cet insecte de soixante centimètres d'envergure, le plus grand de tous les insectes connus, bien fait pour redresser certaines idées sur la composition de l'atmosphère à l'époque houillère ? Mais ces expositions paléontologiques ne se font pas remarquer seulement par des objets de pure curiosité. Elles témoignent de la sagacité et des recherches persévérantes de quelques-uns de vos membres.

« Joignant la science du botaniste à la pratique de l'ingénieur, ils ont étudié sur place la végétation houillère et en ont tiré des déductions qui, si elles ne sont pas adoptées par tous, nous rapprochent cependant de plus en plus de la vérité. Ces laborieuses études, ces théories nouvelles, jettent un reflet scientifique bien remarquable sur les travaux des ingénieurs français.

« Mon intention n'est pas, Messieurs, de froisser trop ouvertement certaines modesties. Vous m'avez tous suffisamment compris du reste. Mon toast sera collectif. La Société de l'Industrie minérale est dans une excellente voie : elle doit être fière de son passé et ce

qu'elle fait en ce moment nous répond de son avenir. C'est à cette Société que je porte un toast et à son président, M. Castel, par qui elle est si dignement représentée. »

Des applaudissements répétés et chaleureux ont accueilli les paroles de M. Briart.

Les convives se sont séparés ensuite, en se promettant de profiter de la première occasion favorable pour se réunir de nouveau et en exprimant l'espoir que cette occasion ne se ferait pas trop attendre.

Ingénieurs belges ayant assisté au Banquet du 7 septembre 1889.

MM.

1. Abras (Ch.).
2. Alardin (Justin), ingénieur à Mons (Belgique).
3. Alardin (L.), ingénieur à Mons (Belgique).
4. Arnould (G.), directeur général des mines, Bruxelles.
5. Basiaux, ingénieur de la Manufacture des Glaces d'Oignies (Belgique).
6. Beaupain (J.).
7. Bernimolin (A.).
8. Bolle (Eugène), 23, boulevard Central, à Charleroi (Belgique).
9. Brassard (V.), directeur-gérant de la Société des Ardoisières de Moulin-Sainte-Anne, à Fumay (Ardennes).
10. Briart (A), ingénieur en chef des Charbonnages de Mariemont, à Morlanwelz (Belgique).
11. Cabany (A.), 6, avenue Quinten-Maltgs, Anvers (Belgique).
12. Cappe (Arm.).

13. Challe.
14. Charlier.
15. Courtois (L.)
16. Cuisinier (Ernest), Jemmapes (Belgique).
17. Delleur.
18. Delruelle.
19. Delsemme.
20. Demaret (Jules), ingénieur au Corps des Mines, à l'Ecole des Mines de Mons.
21. Demaret (Léon), ingénieur au Corps des Mines, à Mons (Belgique).
22. Delvaux (Henri), 73, rue de la Montagne, Bruxelles.
23. Dessent (Jules), ingénieur aux Charbonnages de Bascoup (Belgique).
24. Dunel.
25. Dupont (A.).
26. Dupont (H.).
27. Dupont (Julien).
28. Francken (Osc.)
29. Frankignoulle (C.)
30. Frankignoulle (L.)
31. Freson (Ch.).
32. Gabet (Henri), rue d'Italie, 16, Chambéry.
33. Géraud (Arm.).
34. Gernaert (Camille).
35. Gillet (Charles).
36. Gillon (A.), professeur de métallurgie à l'Ecole des Mines de Liège.
37. Gobert (A.), ingénieur honoraire, 214, Chaussée de Charleroi, Bruxelles.
38. Godeaux, ingénieur à Morlanwelz-lès-Mariemont (Belgique).
39. Grange (A.).
40. Greiner (Adolphe), directeur général de la Société Cockerill, Seraing (Belgique).
41. Guillaume (E.).
42. Habets, professeur à l'Ecole des Mines de Liège.

43. Hardy (Emile), directeur général de la Société de Charbonnages belges, Quaregnon (Belgique).
44. Harzé (E.), directeur des Mines de Belgique (Bruxelles).
45. Hock (U.), ingénieur à Isbergues (Pas-de-Calais).
46. Isaac (Fernand), ingénieur principal du Grand-Buisson, à Hornu (Belgique).
47. Isaac (Isaac), ingénieur principal des Charbonnages du Levant-du-Flenu, à Cuesmes (Belgique).
48. Jacquemin, ingénieur, chef de service à la Société Cokerill, Seraing.
49. Jaspar (A.).
50. Joltrand (Félix).
51. Laguesse (L.).
52. Van Langhenhove, Haren (Belgique).
53. Larsimont, ingénieur à Trazegnies (Belgique).
54. Legrand (Charles), 47, rue des Palais, Bruxelles.
55. Lezaeck (de).
56. Levêque (J.).
57. Libert (J.), ingénieur au Corps des Mines, Liège.
58. Libotte (Achille).
59. Libotte (Ed.).
60. Libotte (Emile).
61. Loiseau (Osc.), ingénieur à Ougrée, près Liège.
62. Magery (M.), Roth-Eud, près Aix-la-Chapelle (province rhénane).
63. Maréchal (R.).
64. Manne (Jacques), directeur-gérant de la Fonderie et Tréfilerie de bronze phosphoreux d'Anderlecht, 417, Chaussée de Mons, Bruxelles.
65. Michel (François), ingénieur aux Charbonnages des Bouches-du-Rhône, Gréasque (Bouches-du-Rhône).
66. Mullenders (J.).
67. Navaert (Alfred).
68. Nyst (F.), ingénieur, 23, rue Méan, Liège.
69. Orval (H.-J.).
70. Palante.
71. Pavoux (E.).

72. PHILIPPART (Alfred), directeur technique des Aciéries d'Isbergues (Pas-de-Calais).
73. PIÉRARD (A.).
74. PILET.
75. PLUMAT, ingénieur des Mines du Grand-Hornu, à Hornu (Belgique).
76. RÉSIMONT (A.), administrateur-directeur de la Société anonyme des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est, Valenciennes (Nord).
77. RISEMIER.
78. ROBERTI-LINTERMANS, 63, rue des Drapiers, Ysselles-lès-Bruxelles (Belgique).
79. ROCOURT (G.), ingénieur honoraire des Mines, à Liège (Belgique.
80. SCHMIDT (E.).
81. SERVAIS (Emile), Grand-Duché de Luxembourg.
82. SIMONT (Auguste), à la Société anonyme des Forges de Clabecq, 10, rue Blanche, Bruxelles.
83. SOTTIAUX (A.), ingénieur, directeur de la Société anonyme des Charbonnages, Hauts-Fourneaux et Usines de Strepies-Bracquenies, à Bracquenies (Belgique).
84. SYROCZYNSKI (Léon), ingénieur, membre du Jury à l'Exposition Universelle de 1885, membre du Conseil communal, Lemberg (Autriche).
85. THOMSIN.
86. TIMMERHANS (Ch.), ingénieur à la Vieille-Montagne, Calamine (Belgique).
87. TIMMERHANS (L.).
88. THOMSON (Eugène), ingénieur, directeur à Dortmund, 36, Ostwall, (Westphalie).
89. VAUX (DE).
90. VERNEIRE (G.).
91. VERTONGEN (Ch.), ingénieur à Termonde (Belgique).
92. VINÇOTTE (Henri), ingénieur, directeur de la Compagnie des Bronzes phosphoreux Montefiore, Saint-Denis (Seine).
93. WEILER.
94. WITMEUR (H.).

95. Wuillot (Alfred), ingénieur en chef des Mines de Marles, à Auchel (Pas-de-Calais).
96. Wuillot (Joseph).

Membres de la Société de l'Industrie minérale ayant adhéré au Banquet du 7 septembre.

MM.

1. Autissier, ingénieur, directeur-gérant des Ardoisières de Rochefort, à Rochefort-en-Terre (Morbihan).
2. Badoureau, ingénieur des Mines, à Amiens.
3. Baissac, ingénieur des Mines de Gouhenans (Haute-Saône).
4. Babilot, directeur des Mines de Portes et Sénéchas, à la Vernarède (Gard).
5. Bardon, ingénieur-directeur des Mines de Trélys (Gard).
6. Baretta, directeur des Mines de Beaubrun, 27, cours Victor-Hugo, à Saint-Etienne (Loire).
7. Bergaud, ingénieur en chef des Mines de Bruay (Pas-de-Calais).
8. Boissière, boulevard de Denain, 9, à Paris.
9. Brustlein (A.), directeur des Usines Jacob Holtzer, à Unieux (Loire).
10. Cambessèdès, professeur à l'Ecole des Maîtres-Mineurs de Douai (Nord).
11. Castanié, à Alais (Gard).
12. Castel, inspecteur général des Mines, 144, boulevard Raspail, Paris.
13. Champigny (Armand), ingénieur, 11, rue Berne, Paris.
14. Charvet (Henri), ingénieur civil, 5, place Marengo, Saint-Etienne.
15. Chastelain (Alexandre), rue Rochefort, Figeac (Lot).
16. Chevalier (Emile), ingénieur-constructeur du matériel des Chemins de fer, quai de Grenelle, Paris.
17. Cornuault, directeur de la Compagnie du Gaz et des Hauts-Fourneaux de Marseille, 6, rue Le Pelletier, Paris.

18. Demmler, ingénieur, 5, avenue Lakanal, Bourg-la-Reine.
19. Deverne (François), ingénieur aux Mines de Douchy, Lourches (Nord).
20. Dougados (Jules), ingénieur des Mines, Rive-de-Gier (Loire).
21. Dujardin-Beaumetz, 147, boulevard Malesherbes, Paris.
22. Dumont.
23. Dupuis (Edmond), sous-directeur-adjoint de la Compagnie des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer, à Saint-Chamond (Loire).
24. Durassier, ingénieur civil des Mines, 53, avenue de Wagram, Paris.
25. Eloy, directeur des Mines de Plomb et Zinc argentifères, Pontpéant (Ille-et-Vilaine).
26. Euverte (Jules), 6, rue de Seine, Paris.
27. Evrard (Maximilien), Saint-Etienne (Loire).
28. Fayol (Paul), ingénieur, Moulins (Allier).
29. François (Antoine) ingénieur en chef des Travaux du fond de la Compagnie d'Anzin, à Anzin.
30. Fumat, ingénieur en chef des Mines de la Grand'Combe.
31. Grand'Eury, correspondance de l'Institut, professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne (Loire).
32. Grobot, directeur de l'Usine d'Assailly, Lorette (Loire).
33. Gruner, 6, rue Férou, Paris.
34. Guilhaumat (Jules), ingénieur à Agde (Hérault).
35. Harmegnies (Jean), Auby-lez-Douai, par Flers-en-Escrebieux (Nord).
36. Haton de la Goupillière, directeur de l'Ecole des Mines, 60, boulevard Saint-Michel, Paris.
37. Ichon, ingénieur des Mines à Angers (Maine-et-Loire).
38. Joannès (Léon de), ingénieur à Brousseval, par Wassy (Haute-Marne).
39. Laforce, ingénieur civil des Mines, Beaucaire (Gard).
40. Ledoux, ingénieur en chef des Mines, 12, place Vendôme, Paris.
41. Leseure, ingénieur en chef des Mines, à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne (Loire).

42. Létaud, directeur des Forges de l'Eure, Conches (Eure).
43. Lévy (Auguste), ingénieur à la Compagnie du Gaz, 6, rue Condorcet, Paris.
44. Lévy (Charles), directeur des Houillères de Bézenet et des Ferrières (Allier).
45. Mahler, ingénieur, 372, rue Saint-Honoré, Paris.
46. Malissard-Taza, Anzin (Nord).
47. Mallard, inspecteur général au Corps des Mines, professeur de minéralogie à l'Ecole des Mines, Paris.
48. Manhès (Pierre), directeur de la Société de Métallurgie du Cuivre, 1, rue Childebert, Lyon.
49. Marsaut (Jean-Baptiste), ingénieur en chef des Houillères de Bessèges (Gard).
50. Martin (Charles), ingénieur à Cransac (Aveyron).
51. Mathevon (Henri), ingénieur aux Mines de Lavoulte (Ardèche).
52. Montgolfier (de).
53. Mussy, ingénieur en chef des Mines, 9, rue Boccador (quartier Marbeuf), Paris.
54. Nivoit, 2, rue de la Planche, Paris.
55. Osmond (A.), ingénieur civil, 83, boulevard de Courcelles, Paris.
56. Picot.
57. Quillacq (de), Anzin (Nord).
58. Ractmadoux, ingénieur à Annecy (Haute-Savoie).
59. Rémaury, ingénieur civil, 81, rue Saint-Lazare, Paris.
60. Reumaux, ingénieur en chef des Mines de Lens (Pas-de-Calais).
61. Rogé, maître de Forges à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).
62. Roux (Etienne), ingénieur civil à la Roques-Genest, par Saint-Clair (Manche).
63. Rouy, ingénieur principal des Mines de Dourges, Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).
64. Saint-Phalle (de), Bourges (Cher).
65. Seibel, directeur des Mines de Campagnac, à Cransac (Aveyron).

66. Sepulchre (Victor), Maxéville, près Nancy.
67. Simon (René), directeur des mines de Monthieu, 12, rue de la République, Saint-Etienne (Loire).
68. Soubeiran (A.), ingénieur au Corps des Mines, à Lille (Nord).
69. Souhart, ingénieur, 99, avenue Villiers, Paris.
70. Tauzin, ingénieur au Corps des Mines, professeur à l'Ecole des Mines, 47, rue de la République, Saint-Etienne (Loire).
71. Thomas (Nicolas-Maximin), ingénieur, directeur des Forges d'Eurville (Haute-Marne).
72. Vialla, ingénieur directeur des Mines Lalle, Bessèges (Gard).
73. Voisin (L.), directeur des Mines de Dourges à Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).
74. Wéry, directeur des Mines de la Chazotte, près Saint-Etienne (Loire).

TABLE GÉNÉRALE DES MATIÈRES

TOME III — 1889

Ire PARTIE

Publications courantes.

Exploration du terrain houiller de la côte nord-ouest de Madagascar, par MM. RIGAUD et GUINARD, ingénieurs. 503

Bassin houiller du Donetz et richesses minérales du sud de la Russie à l'Exposition de Charkoff, par M. VINCENS, directeur des mines de Routchenko 141

Région ouest du bassin du Donetz, traduction par M. VINCENS..... 113

Les Houillères de Westphalie, par M. J. PLICHON, ingénieur des Arts et Manufactures, administrateur de la Compagnie des Mines de Béthune..... 463

Sur le matériel des houillères, par M. REUMAUX, ingénieur en chef des Mines de Lens..... 373

Note sur le nouveau balancier d'équilibre de la pompe du puits de l'Ondaine, par M. GRIOT, ingénieur divisionnaire des Mines de Montrambert..... 349

Note sur la descenderie de remblais du puits de Lyon, par M. GRIOT..... 365

Passage des courbes dans un traînage mécanique par chaîne flottante, par M. BIVER, ingénieur aux mines de Gardanne..... 237

Note sur un lavoir à charbon dit *Lavoir à palettes*, par M. MAX. EVRARD, ingénieur civil à Saint-Etienne..... 317

Commission prussienne du grisou, traduction et résumé du rapport de la sous-commission des ventilateurs, par MM. MURGUE et BRUN, ingénieurs de la Compagnie houillère de Bessèges (1re partie)..... 5

D° (2me partie)..... 391

Notes sur ce rapport par les mêmes..... 96 et 453

Notes sur quelques aciéries westphaliennes, par M. J. PLICHON..... 494

Notes de statistique, par M. CAMBESSÉDÈS, professeur à l'Ecole des Maîtres-Mineurs de Douai..... 253

Prix courants des charbons, cokes, fontes, aciers, fers et métaux au 1er avril 1889 270

D° au 31 juillet 1889 541

Liste des publications reçues par la Société 272, 543

Actes administratifs.

Assemblée générale ordinaire du 19 mai 1889..... 547

Extraits des procès-verbaux des séances du Conseil d'Administration 275, 546

Liste générale des membres de la Société au 1er avril 1889 277

Supplément à cette liste..... 571

Banquet offert aux ingénieurs belges, le 7 septembre 1889, à Paris, à l'occasion de l'Exposition universelle 1723

IIme PARTIE

Congrès international des Mines et de la Métallurgie.

I

Rapports présentés sur la demande du Comité d'organisation.

MINES

Rapport sur les lampes de sûreté, par M. H. Le Chatelier, ingénieur en chef des mines, à Paris..... 575

Emploi des explosifs dans les mines à grisou, par M. Mallard, inspecteur général des Mines..... ... 659

L'électricité dans les mines, par M. Chalon, ingénieur civil à Paris..... 711

Rapport sur l'électricité dans les mines (transport, extraction, traction), par M. Chansselle, ingénieur principal des Houillères de Saint-Etienne... 727

Questions se rapportant à la montée, à la descente et à la circulation des ouvriers mineurs, spécialement question des parachutes et des recettes, par M. Reumaux, ingénieur en chef des travaux des Mines de Lens..... 733

MÉTALLURGIE

Progrès récents de l'affinage et de la déphosphoration dans la fabrication des fers et aciers, par M. G. Bresson, ancien directeur des mines et usines de la Société autrichienne-hongroise des chemins de fer de l'Etat, et par M. E. Gruner, ingénieur civil, ancien directeur des usines de Saint-Montant..... 809

Forgeage comparé au marteau-pilon et à la presse, par M. Ferd. GAUTHIER, ingénieur civil des mines..... 839

Alliages ferro-métalliques (leur fabrication, leurs propriétés, leurs emplois), par M. GAUTHIER, ingénieur civil des mines..... 851

Le ferro-chrome, par M. BRUSTLEIN, ingénieur-directeur des usines Jacob Holtzer et Cᵉ, à Unieux..... 975

Nouveaux alliages industriels des métaux autres que le fer, par M. L. WEILLER..... 985

Le bronze phosphoreux, par MM. H. VINÇOTTE et MANNE 1027

Nouveaux procédés de trempe, par M. OSMOND, ingénieur civil..... 1045

De l'emploi des bains métalliques dans le traitement final des grosses pièces en acier et notamment des pièces de cuirassement, par M. A. EVRARD..... 1063

II

Travaux du Congrès.

Documents généraux..... 1087

Séance d'ouverture (2 septembre 1889)..... 1127

MINES

Séance du 3 septembre 1889 (lampes de sûreté)..... 1139

Séance du 5 septembre (explosifs)..... 1235

Séance du 7 septembre (appareils de sécurité)..... 1294

Séance du 10 septembre (emploi de l'électricité dans les mines)..... 1312

Séance du 11 septembre (communications diverses)..... 1394

MÉTALLURGIE

Séance du 4 septembre 1889 (affinage et déphosphoration) 1441

Séance du 6 septembre (forgeage, alliages ferro-métalliques)..... 1512

Séance du 9 septembre (alliages ferro-métalliques)..... 1560

Séance du 11 septembre (trempe, communications diverses) 1630

Banquet sur la tour Eiffel..... 1709

St-Etienne, imp. Théolier et Cᵉ.

MAY 5 1922

EXTRAITS DES RÈGLEMENTS

DE LA

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

La *Société de l'Industrie minérale* a pour objet de concourir au progrès de l'Art des mines, de la Métallurgie et des Industries qui s'y rattachent.

Le nombre des membres est illimité. Les étrangers peuvent en faire partie comme les Français, ainsi que les Sociétés industrielles et commerciales.

Pour pouvoir être nommé membre, il faut être présenté au Conseil d'administration par deux Sociétaires.

Chaque membre s'engage à payer une cotisation d'au moins 25 fr. pour la France (y compris l'Algérie et la Corse) et pour l'Alsace-Lorraine, et d'au moins 30 fr. pour l'Etranger. A partir de 1879, elle est fixée à 30 fr. pour les membres résidant en France, et à 35 fr. pour l'étranger. La cotisation est exigible d'avance. La cotisation annuelle peut être remplacée par le paiement d'une somme de 400 fr. moyennant lequel le membre devient Sociétaire à vie, ou le paiement d'une somme de 1.000 fr. moyennant lequel il deviendra sociétaire à perpétuité.

Moyennant le paiement de la cotisation, les Sociétaires ont droit à l'envoi gratuit de toutes les publications de la Société.

La Société est divisée en Districts, et les procès-verbaux de leurs réunions sont résumés au siége de la Société en un *Compte-rendu mensuel*.

La publication principale de la Société est le Recueil trimestriel connu sous le nom de *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*.

Tout auteur d'un mémoire inséré au *Bulletin* pourra obtenir la remise gratuite de 20 exemplaires de son travail, pourvu qu'il en fasse la demande lors de l'envoi de son manuscrit.

Il pourra aussi en faire faire un tirage à part, mais à ses frais, à raison de 8 fr. le cent de planches, de 3 fr. 50 c. par feuille d'impression (16 pages) pour 50 exemplaires et au-dessous, de 6 fr. pour un nombre d'exemplaires de 50 à 100, et de 4 fr. 50 c. le cent pour un tirage supérieur à 100 exemplaires. Le changement de pagination et le brochage sont en sus de ces prix.

Le Conseil d'administration aura chaque année à sa disposition une somme d'au moins 500 fr. pour être distribuée, en médailles d'or, aux auteurs des meilleurs travaux publiés dans le *Bulletin* ou les *Comptes-rendus mensuels*.

L'Assemblée générale pourra, sur le rapport motivé du Conseil d'administration, décerner des médailles d'honneur pour les travaux et inventions jugés par elle dignes d'une récompense exceptionnelle.

Le *Bulletin* rend compte des ouvrages français et étrangers que leurs auteurs veulent bien faire tenir à la Société.

La Société accepte également l'échange avec les recueils et journaux scientifiques et technologiques.

TABLE DES MATIÈRES

CONGRÈS INTERNATIONAL DES MINES & DE LA MÉTALLURGIE

TRAVAUX DU CONGRÈS

Procès-verbaux détaillés des séances.

Pages.

Documents généraux 1087
Séance d'ouverture (2 septembre 1889) 1177

Mines.

Séance du 3 septembre 1889 (lampes de sûreté) 1182
Séance du 5 septembre (explosifs) 1230
Séance du 7 septembre (appareils de sécurité) 1294
Séance du 10 septembre (emploi de l'électricité dans les mines) . 1317
Séance du 11 septembre (communications diverses) 1391

Métallurgie.

Séance du 4 septembre 1889 (Affinage et déphosphoration) 1441
Séance du 6 septembre (forgeage, alliages ferro-métalliques) ... 1519
Séance du 9 septembre (alliages ferro-métalliques) 1569
Séance du 11 septembre (trempe, communications diverses) 1630
Banquet sur la tour Eiffel 1709
Banquet offert par la Société de l'industrie minérale aux ingénieurs belges 1721
Table générale des matières du tome III (3e série) de 1889 1737

A cette livraison est joint un atlas de 3 planches.

SAINT-ÉTIENNE. IMP. THÉOLIER ET Cie.